

総 説 (REVIEW)

竹 の 生 長 に つ い て*

野 村 隆 哉**

Growth of Bamboo*

Takaya NOMURA**

は じ め に

いつの頃から竹が日本人の精神を象徴するものとして用いられるようになったのか不明であるが、見事に整備されたモウソウチク林の中に凛々として立っている竹を見ると花鳥風月、四季折々の自然との濃やかな交流に長けた日本人の感性に大きな影響を与えたであろうことは理解出来るような気がする。

一方、実用の面からみれば、今日の我国における竹資源の重要性はあまり大きなものではない。しかし、近い将来化石エネルギーの枯渇にともない再生可能な資源として、特に開発途上国において重要な役割を持つことになるであろうことは論を待たない。

中国、アフリカ大陸、南米大陸における竹類の蓄積は明らかにされていないが、東南アジア諸国、インドの天然林分布面積は表-1¹⁾に示される通りであり、かなりの蓄積がある。これら竹林の適切な栽培、管理および利用は開発途上国はもとより地球上のエネルギー資源の有効利用の上からも大切な問題である。竹を利用する際、一番大きな価値はその生長のはやきにある。これは他の林木に比べて類をみないものである。この竹の生長について、モウソウチクを主に、実生から成竹、タケノコから成竹になるまでの生長過程での組織構造の変化、それにともなう竹材の性質等の変化について概説する。

表-1 東南アジア諸国の天然竹林分布面積¹⁾

国 別			竹 林 面 積
イ	ン	ド	400 万 ヘクタール
ビ	ル	マ	220 〳
タ		イ	100 〳
台		湾	11 〳
パ	キ	ス タ ン	10 〳
ベ	ト	ナ ム	10 〳
マ	レ	ー シ ア	10 〳
カ	ン	ボ ジ ア	10 〳
フ	イ	リ ッ ピ ン	10 〳
イ	ン	ド ネ シ ア	5 〳
(日		本)	(栽培竹林 17 万 ヘクタール)

* 第 35 回 木研公開講演会（大阪，1980 年 5 月 13 日）において講演

** 木材物理部門（Research Section of Wood Physics）

1. 竹類一般について²⁾

竹類一般について、その分類学的見地からみるとタケ・ササをイネ科の一群としてタケ亜科 (*Bambusoideae*) とするもの、あるいはタケ族 (*Bambuseae*) とするものなどがある。この分類は、生殖器官である花で一般のイネ科とタケ・ササの間ではきわめて類似点が多いという立場からのようである。一方では、一般のイネ科 (*Gramineae*) は細長い葉と茎をもつ草本で、通常軟弱なものが多い。それに対してタケやササは茎の細胞が木化して硬く、いわゆる木本である。一般のイネ科では花序のほかは枝を分岐しないが、タケ・ササではよく枝を分岐する。

またイネ科では葉身と葉鞘の境目に関節がなく、葉が枯れても葉身は葉鞘から離脱することがないが、タケやササでは葉身と葉鞘の間に関節があって離脱しやすい。またイネ科ではごく特殊の例を除いて、葉は通常細長い線形で、葉柄がないが、タケ・ササでは葉身は幅広い披針形となり、基部には短いながらはっきりとした葉柄がある。

以上のように栄養器官ではタケ・ササは一般のイネ科とはかなり大きなちがいが見られることから、栄養器官の特異性をもっとも重視する学者はタケ科 (*Bambusaceae*) としてイネ科から独立させている。

次にタケ類とササ類のわけ方であるが、両者のちがいは漠然としていて、諸説はあるが、分類学上からいってもあいまいな定義にすぎず、だいたい大形のものをタケ類、小型のものをササ類としているようで、その中間形のものもあるがこのわけ方はいづれにしろ分類学上の区分ではなく、あくまでタケ科の便宜上の区分にすぎないと鈴木は述べている。

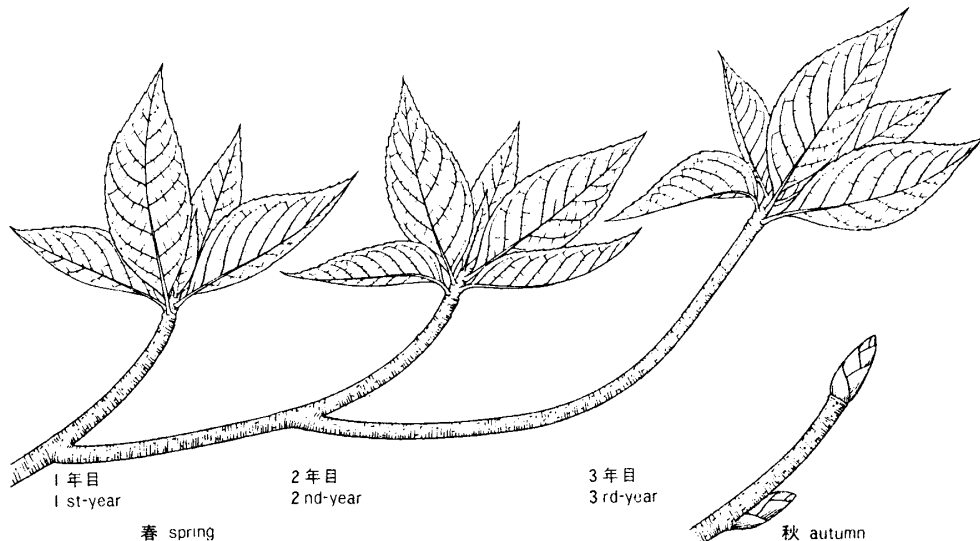
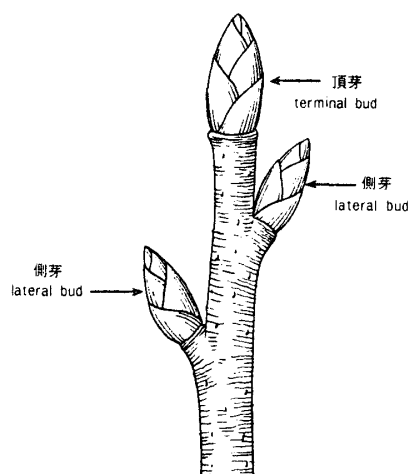


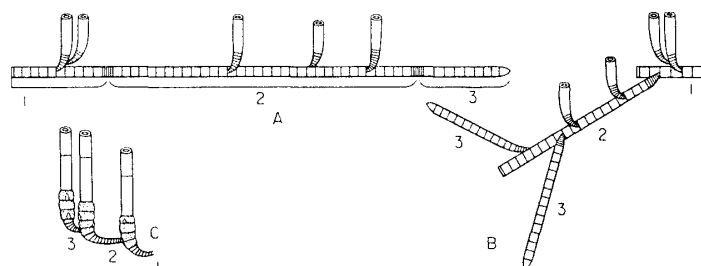
図-1 仮軸分岐をするリュウブ²⁾

さて、次に一般のタケ・ササ類の形態について栄養器官の生長のしかたを見てみよう。一般の樹木の幹や枝は先端と側方の葉腋に毎年新しい芽を作り、先端のものを頂芽、側方のものを側芽という (図-1)²⁾。頂芽は幹や枝の伸長生長をおこし、側芽は伸びて枝になる。多くの樹木では頂芽が幹や枝を伸ばすはたらきをするが、なかには、たとえばミズキやリュウブのように、頂芽は春に葉を数枚だすだけで茎は伸長せず、頂芽の下方の下側にある側芽がそれに代って伸長して主枝になる (図-2)²⁾。その主枝は秋にその先端に頂芽をつくるが、翌春にはその頂芽は葉だけだし伸長しない。これを毎年くり返す。このような生長と分岐のしかたをすることを仮軸分岐 (Sympodial branching) という。

それに対して多くの樹木のように頂芽が毎年伸長を続けることを単軸分岐 (monopodial branching) とい



図一 頂芽と側芽²⁾

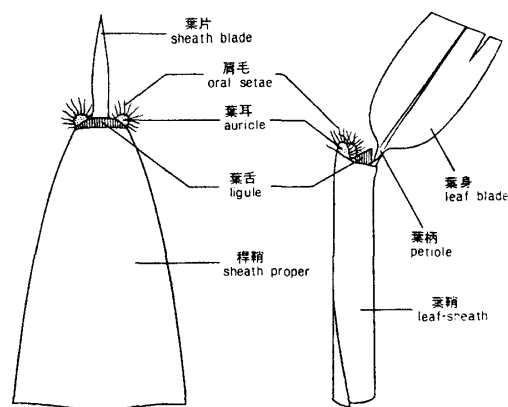


図一 3 地下茎の分岐の模式図²⁾

A : スズダケ (単軸分岐), B : チシマザサ (仮軸分岐),
C : ホウライチク (仮軸分岐), 1, 2, 3の数字は年次を示す

う。タケ科植物の地下茎には単軸分岐をするもの（単軸型）と仮軸分岐をするもの（連軸型）があり，種類によってほぼ一定しており，分類学上の形質として重視される（図-3）²⁾。マダケ属 (*Phyllostachys*) やナリヒラダケ属 (*Semiarundinaria*) のようなタケ類，またメダケ属 (*Pleioblastus*) の多くのもの，およびスズダケ属 (*Sasamorpha*) などのササ類では単軸分岐をし，それらは地下茎の先端に芽をつけて越冬し，翌春その芽が伸長して地下茎を伸ばす。地上稈は地下茎の側芽から立ちあがる。ごくまれに頂芽が立ちあがって地上稈になることがある。地下茎は毎年引続いて伸長するが，年次のつき目にあたる部分では約十節くらいの節間が短縮して密になるので年次が判定できる。ちょうど樹木の年輪のようなものである。

ホウライチク属 (*Bambusa*) は地下茎が太く，かつごく短く，そこにできた芽は伸びても地中を長く走ることなく，ただちに地上稈となる。すなわち仮軸分岐をする（図-3 c）。リョウブの枝の分岐のしかたによく似ている。ササ属 (*Sasa*) では地下茎はある程度伸びるが，先端の頂芽は翌年に生長がとまり，先端近くの1～2個の側芽が代って新しい地下茎となり，毎年それをくり返す。これも仮軸分岐である。タケノコが伸長生長する時，稈軸を保持し，外敵から身を守るのに重要な役割を持つタケ皮は稈鞘 (culm-sheath) と呼ばれ，葉鞘 (leaf-sheath) とはもともと相同器官であり，稈鞘は若い稈を保護する方向へ分化し，葉鞘は稈や枝の先端部を保護し，かつ葉による栄養摂取の方向へ分化したものであり，このような二型性はイネ科よりもはるかにいちじるしい。稈鞘と葉鞘の構成部分ほとんど全く同じである（図-4）²⁾。図-5²⁾ はモウソウチクの地上部の形態を示す。



図一 4 マダケ属の稈鞘と葉鞘の模式図²⁾



図—5²⁾ 1. 稈の下部の節 node at the lower part of culm. $\times 1$, 2. 2本の枝をつけた稈の中部の節 mid-culm node with two branches. $\times 1$, 3. 稈鞘, 背軸面 culm-sheath, abaxial aspect. $\times 0.5$, 4. 稈鞘の上部, 向軸面 upper part of culm-sheath, adaxial aspect. $\times 1$, 5. 葉の枝 leaf branch. $\times 0.5$, 6. 葉鞘の上部 upper part of leaf-sheath. $\times 5$, 7. 若い花の枝 young flowering branch. $\times 1$, 8. 古い花の枝 old flowering branch. $\times 1$, 9. 完全小花, 左に退化花 perfect floret, with rudimentary one (left). $\times 1.4$, 10. 花穎, 背軸面 lemma, abaxial aspect. $\times 1.5$, 11. 内花穎, 向軸面 palea, adaxial aspect. $\times 1.5$, 12. 鱗被 lodicule. $\times 3$, 13. 雄ずい stamen. $\times 1.5$, 14. 雌ずい pistil. $\times 4$

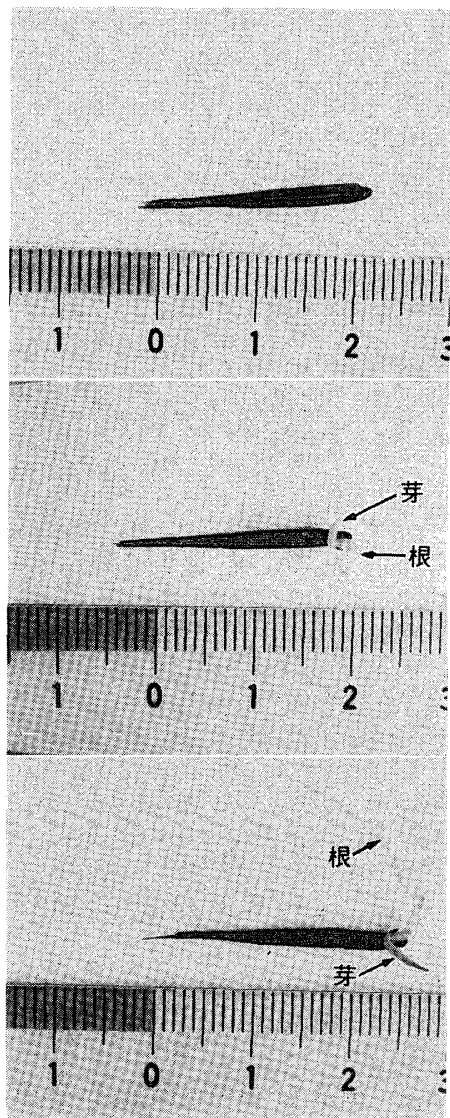
2. タケ・ササ類の開花について

一般に、モウソウチクやマダケはタケノコで増えていく無性生殖であると考えられている。しかし、前述したようにれっきとした高等植物であり開花結実することはあまり知られていない。タケ・ササ類は顕花植物として開花結実するが開花周期がほぼ60年とか120年とかいわれる非常に長い周期を持つものがある。最近では全国的にマダケの開花現象がみられ、各地でマダケ林の全林枯死がみられたがようやく落ち着き、再

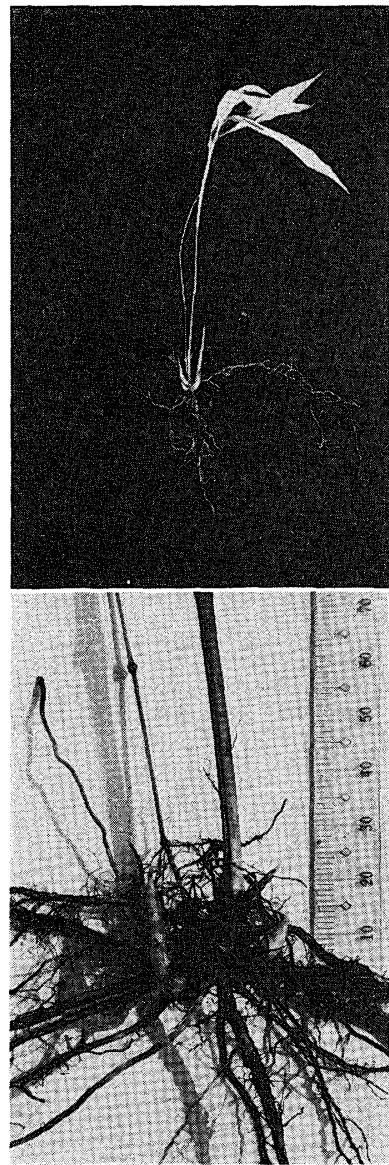
生に向いつつある。

モウソウチクの場合は竹林内の1本ないし数本が突然開花結実する場合は時々みられただけで最近まで竹林の全面開花という現象はみられなかった。モウソウチクの開花周期については不明な点が多いが、それはこの竹が中国から渡来したため履歴が不明であったことも原因している。最近になって、67年前に開花結実したものを播種して育てたものが横浜と京都で同時に開花したことから一つの目安がついたと言える。1979年7月24日、京都大学上賀茂試験地で育生してきたモウソウチクが全て開花し、これより少し先んじて横浜市効外でも500m²のモウソウチク林が一斉に開花したのである。これら両方のモウソウチクは、1912年前田政治郎によって種子より発芽、育生された同一クローンである³⁾。

竹類の実生実験個体群の開花は日本では勿論始めてであり、世界でも栽培種で一例あるのみである³⁾。マダケの場合、しいなが多く実生苗は栃木県の若山がはじめて育苗に成功しているが、一般には実生による再生竹はほとんど不可能に近い。マダケは そのかわり地下茎による再生力が強く、全面開花枯死した竹林で



写真一 モウソウチク発芽の様子を示す⁴¹⁾



写真二 モウソウチク実生苗の分蘖⁴¹⁾

も管理の良いところは再生竹による回復が進んでいる。モウソウチクの場合、平均 60% 近くの発芽率がある。写真-1 はモウソウチクの種子からの発芽の様子を示す。図-6³⁾ は発芽後 50 日目の幼苗である。この幼苗はこの後さかんに分蘖する (写真-2)⁴⁾。この時期は仮軸分岐による栄養器官の増殖が行われる。この頃は 図-6、写真-2 に示されるようにササ類の形態をとる。2 年目も仮軸分岐による分蘖がさかんに行われるが、2 年目の夏頃から地下茎が伸びはじめ 3 年目からタケノコの発生がみられるようになる。

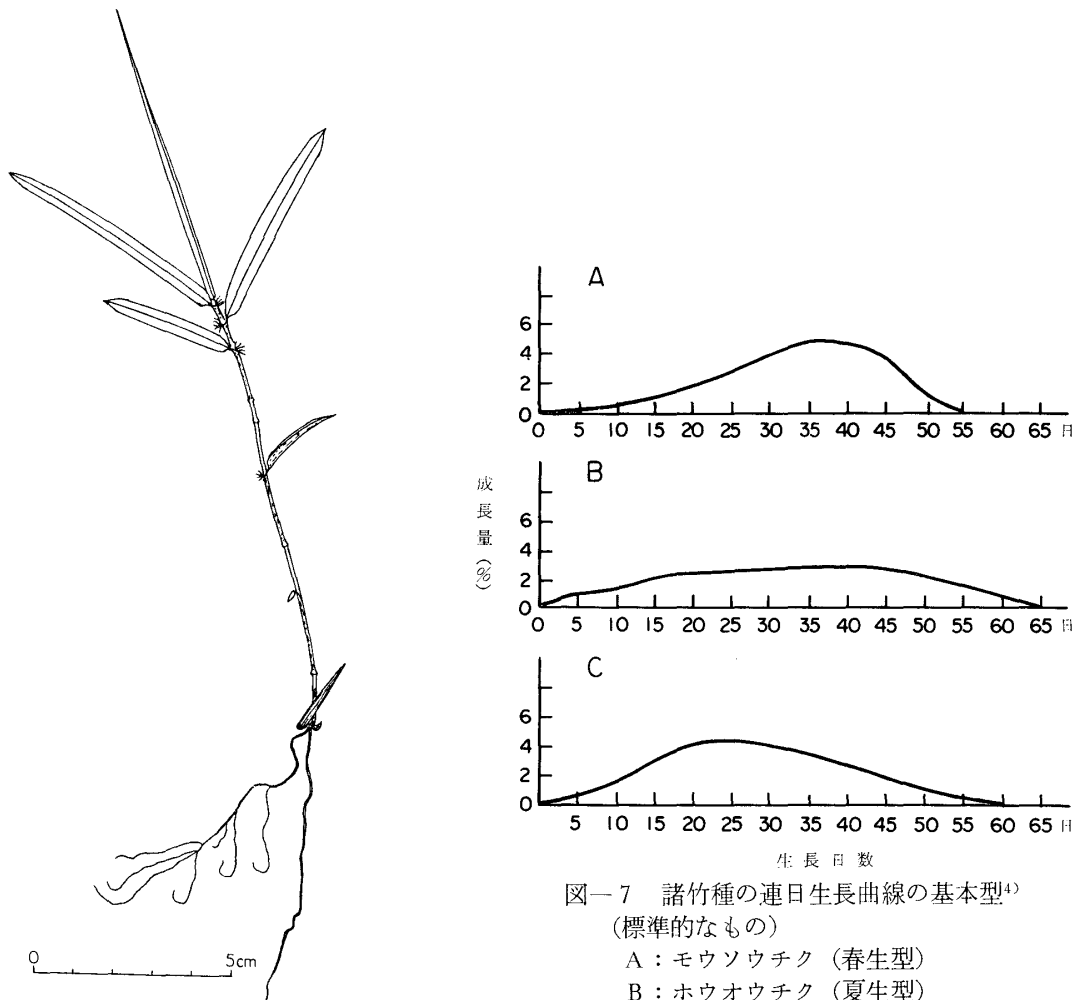


図-6 発芽後50日目の幼苗 (渡辺原図)³⁾

図-7 諸竹種の連日生長曲線の基本型⁴⁾
(標準的なもの)

- A : モウソウチク (春生型)
- B : ホウオウチク (夏生型)
- C : カンチク (秋生型)

3. 無性生殖による生長について

次に無性生殖による竹の増殖についてみてみよう。前述したように竹類は単軸分岐あるいは連軸分岐によって地下茎を伸長させ、そこに芽子が発生し、無性生殖により増殖をつづけていく。タケノコの発生時期によって春生 (温帯性)、夏生 (熱帯性)、秋生にわけられる⁴⁾。我国に生育する竹類で上記に当てはまるものは春生型にモウソウチク、クロチク、マダケ、ヤダケ等があり、夏生型にはホウライチク、ホウオウチク、シホウチクがある。タケノコの伸長生長の生長型について重松による詳細な研究⁴⁾があるが連日生長曲線の基本型を上記のタケノコ発生時期によって比較してみるとモウソウチク、ホウライチク、カンチクに代表される生長曲線は図-7⁴⁾のようになる。成長曲線の経過を見ると、一般に前期 (漸盛)、中期 (最盛)、後期 (衰退) の3期からなるが、そのうち中期の成長如何が曲線型に大きく影響する。春生、秋生型ではこの中期の成長速度が他期にくらべて著しいため成長曲線に極大部を持つが夏生型ではなだらかな山の曲線になる。最大日

生長量は中期の中央部にあらわれるが全過程からいえば春生竹はその後半に、夏生竹は中央に、秋生竹は前半部に存在していることがわかる。最大生長量は春生竹、とくにマダケ属 (*Phyllostachys*) で著しく、夏生竹であり顕著でない。一日の伸長量は春生竹の代表であるモウソウチクで 119 cm, マダケで 121 cm という記録がある⁵⁾。夏生竹である熱帯性竹は春生竹に比べて一日の伸長量は少ない。世界最大の竹である大蔴竹 (*Dendrocalamus giganteus*, 全稈長 36 m, 日通径 30 cm, 最大節間長 80 cm, 連軸型の株の直径 20 m, 1 株 300~400 本叢出) は伸長生長に 105~120 日を要する。平均日生長は 29~35 cm である⁴⁾。夏生竹の生成が終始緩慢であるのに比べ、春生竹や秋生竹が急速であるのは、両者の地下茎の形態機構の差異に由来するという説がある⁴⁾。すなわち前者は単軸分岐型の地下茎で、栄養分を地下茎内に多量に貯蔵出来るが後者は仮軸分岐型で地下茎に養分を貯蔵出来ないことが原因しているのであろうと考えられる。これら竹の伸長生長に及ぼす気候の影響は春生竹および秋生竹に対する温度、夏生竹に対する関係湿度がそれぞれ正の相関をもっている。それ故春生、秋生竹は昼間に、夏生竹は夜間において伸長生長が大きいことになる⁴⁾。

4. 節間生長について

竹類の生長での特長の一つに節間生長がある。竹の著しい伸長生長はこの生長形態におうところが大きい。モウソウチクを例にとってみてみると次のようになる。図-8 は成竹の節間長と節間径を各節間毎にプロットしたものである。全稈長の中央部に最長節間があり、それより下方、上方の節間は漸減していく。節間径は基部から先端に向かって漸減していくが、一般的なモウソウチクの形態では5, 6節附近で一旦わずかに径が細くなってその上の節間部で少しふくらむ。発筍してからの各節間長の伸長変化を図-9 A⁶⁾ に示す。

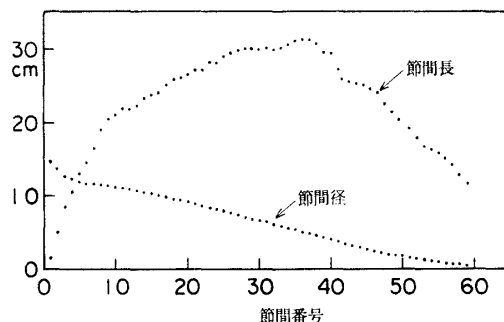
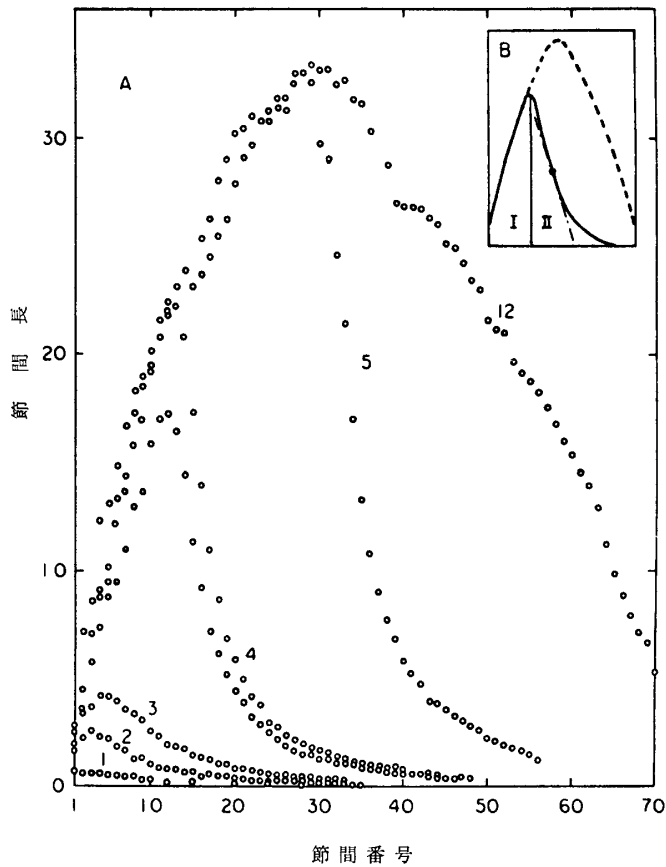


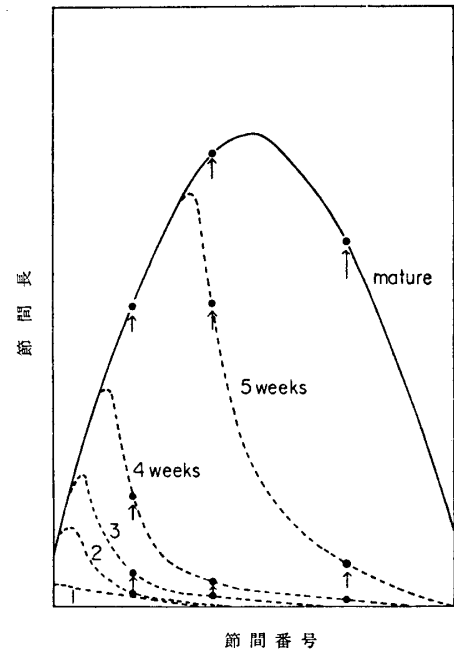
図-8 成竹の節間長及び節間径の分布の一例

左側すなわち下部の節間から順次伸長生長を完了していくことを示している。模式的に示すと図-9 B のようになり I の部分は節間生長を終えた部分、II の部分は節間生長しつつある部分である。冬期、地下茎の各節の部分に形成された芽子が地中で肥大化し、タケノコの先端が地上に頭を出す頃には成竹でみられる各節間の大部分が分化しており、先端部のごく一部だけが未分化のままで存在している。伸長しはじめるとあらかじめ形成されている節間が下部の節間から順次伸長速度を異にしながら伸長していくと共に先端部も伸長しながら未分化の節間を完成していく。伸長中のタケノコは各節間基部すなわち節のすぐ上部のところに分裂組織がありそれぞれの節間基部で細胞分裂が行われ分裂して増えた細胞は伸長しながら上部におしあげられる。これを模式的に書くと図-10 のようになる。

節間生長が終るとマダケ属はその部分のタケ皮(稈鞘)が脱落する。稈鞘はモウソウチクのように大径の竹の場合は、まだ若い竹稈を物理的に保持するためにも、外敵からの保護のためにも大切な役割を持っていると同時に節間生長のために必要な生長ホルモンの活性とも重要な関係があるようである。それは伸長中の竹稈をおおっている稈鞘を剝離することによってその部位の節間の伸長が止まってしまうことから推定する。稈鞘に生長ホルモンが含まれていて、剝離することによって節間に供給されなくなるため節間生長が



図一 9 発筍後の各生長段階(週間)での節間長の分布(A)
節間生長の模式図(B)(I:節間生長終了部分,
II:節間生長しつつある部分)⁶⁾
図中の数字は週数をあらわす



図一 10 節間生長の模式図

止まるのか、節間がむきだしになるためにその部位の生長ホルモンが外因によって失活するためなのか、その原因は目下のところ不明であり、今後明らかにされねばならない問題として残されている。

5. とまりタケノコについて

タケノコの発筍期に見られる興味深い現象にとまりタケノコというものがある。

タケノコとして食用になる程度の大きさからさらには地上 1 m 近くまで伸長してそれ以上伸びないで立腐れてしまうタケノコが発筍したもの 5～6 割に達する⁵⁾。これがとまりタケノコの現象である。地下茎に生じた芽子が全て生長して竹になれば竹林の立竹密度が過密になり竹林全体の生育上障害になることは明白である。このため発筍のバランスをうまくとっていると考えれば当を得ているが、この機構については今のところ全く解明されていない。上田によれば⁵⁾、施肥を十分にすることによってとまりタケノコの発生率を下げる事が出来るかもしれないと試みた実験においても個々のとまりタケノコの伸長量が増加しただけで発筍全体の中で占めるとまりタケノコの割合は減少しなかったという報告がある。

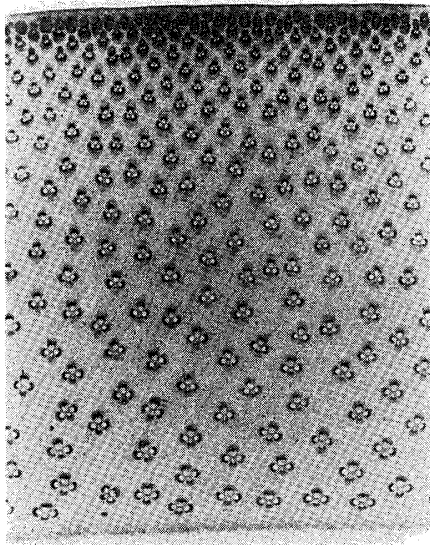
無性生殖によって増殖する竹林をボルボックスのような群体からなるものとよく似た機能のものと考えれば、群体としての竹林の生態系のバランスを司る機構がどのようにして生まれてきたかを明らかにすることが今後の興味深い課題である。

6. 竹の生長にともなう組織構造の変化について

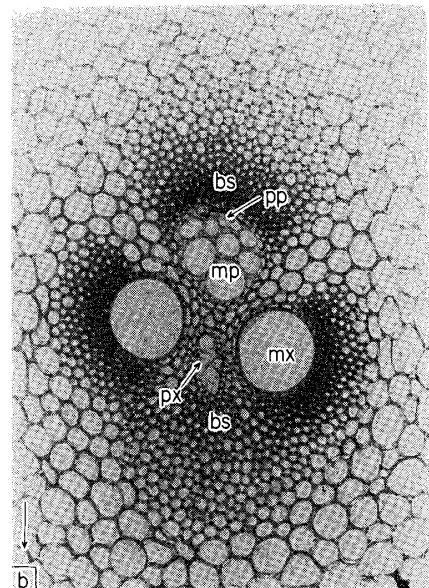
前節に述べたように竹類は生態的にも、形態的にも他の植物とは異なる特長をいろいろ持っていることがわかる。この節ではこれら外見的な特長が生長にともなう組織構造の変化とどのように対応しているかを組織学的、物理学、化学、生化学的立場から明らかにされた知見についてまとめた。

6-1 竹組織の顕微鏡的形態と構造

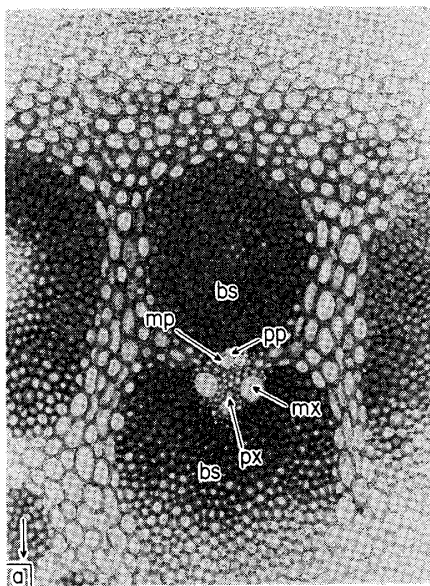
竹は同じ木化植物である木材とは著しく異った構造をもっている。竹稈の表面は極めて薄い薄膜細胞 (Epithelium) でおおわれており、大江⁷⁾によるとこの部分は約25%が灰分、しかもそのほとんどがケイ酸



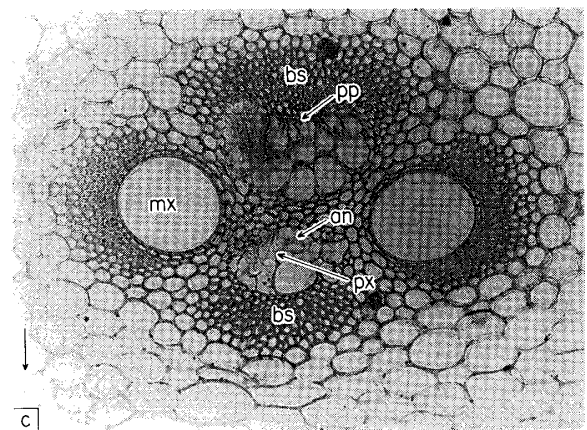
写真—3 モウソウチクの横断面 (12×)⁸⁾



中 央 部



外皮層部



内皮層部

写真—4 モウソウチクの維管束の形態 (90×)⁸⁾。a, b, c の矢印は稈の中心部の方向を示す
bs: 維管束鞘, px: 原生木部, mx: 後生木部, pp: 原生師部, mp: 後生師部,
an: 環紋

分である。

中空に面する内面にも非常に薄い髓細胞 (pith cell) を有している。また竹材が木材と最も異なる点は維管束が基本組織中に散在し、一定の環状配列をなしていない不斉中心柱をもつことである。維管束は内側は大きくかつまばらに分布しているが、外側になるに従い小さく、また密に集合している。この維管束の形態の変化を示すと写真-3⁸⁾ のようになる。維管束の詳細を示すと写真-4⁸⁾ のような構造をしており、維管束の外皮側に面した方が篩部、内皮側に面した方が木部になっており、篩部と木部の間には形成層が見られない。これは前形成層が完全に分化してその間に分裂組織を残さないからで、このような形態のものを閉鎖管束と呼ぶ。したがって竹材の生長は生長点の分裂組織のみで行われ、木材のような幹の肥大生長はない。基本組織は柔細胞からなっており、維管束は写真-4 に示されるように導管と篩管からなり管束鞘で囲まれている。*Melocanna Bambusoides* についての測定値によればこの管束鞘の占有面積は43%であり、この部分は厚膜繊維からなっている。基本組織の柔細胞は薄膜で、横断面は円または五角形で幹方向に長く、*Melocanna Bambusoides* で平均長さ 105 μ 、平均巾 32 μ である。導管は長さ 14~1400 μ 、平均 480 μ 、巾 20~230 μ 、平均 94 μ であり、管束鞘を構成する厚膜繊維は長さ 0.2~6.0 mm、平均 1.75 mm、巾 3~32 μ 、平均 14.7 μ である⁷⁾。マダケで平均 1.57 mm、モウソウチクで 1.37 mm の長さを持つ¹⁾。この厚膜繊維が針葉樹の仮導管、広葉樹の木繊維に対応し、巾は広葉樹木繊維に近く、長さは平均して仮導管と木繊維の中間に位する。このことは竹材一般に適合する⁷⁾。繊維細胞の微細構造について東野等が明らかにしたところによると、竹材の組織を構成する中で厚膜繊維は全細胞中70~80%を占めている^{9,10)}。この厚膜繊維の細胞壁は木材の細胞壁等にみられる三層構造ではなく、特異な同心円的多層構造をとる。この層状構造についてはPRESTON 等¹¹⁾ によって6層からなる多層構造が存在することを報告されているが、東野等は竹繊維横断面の偏光ならびに銀化繊維の顕微鏡観察によって7~9層の層状構造をなし、薄層と厚層とが交互に重なり合

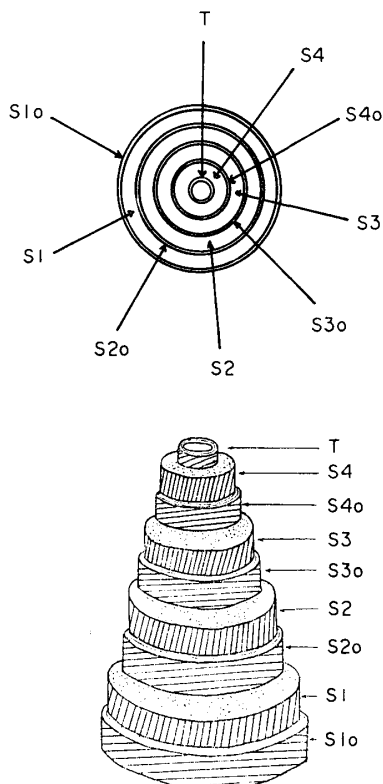


図-11 竹繊維細胞壁の構造モデル¹⁰⁾

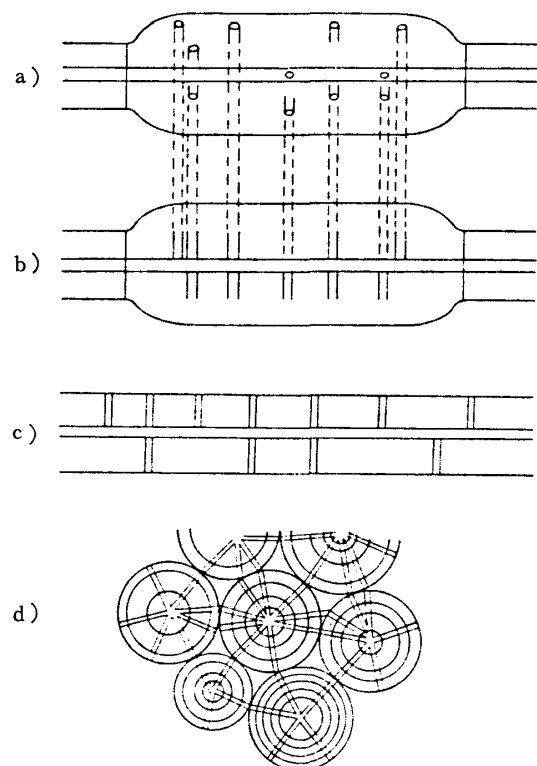


図-12 竹繊維紋孔の模式図¹⁰⁾

a) 膨潤時, b), c) 縦断面, d) 横断面

っていることを明らかにしている¹⁰⁾。これらの結果をもとに図-11¹⁰⁾のようなモデルを示した。また竹繊維細胞の紋孔 (Pit) は酸化銅アンモニアによる膨潤処理によって東野等が始めて観察しているが竹の場合は紋孔が微細であることを示している (図-12)¹⁰⁾。

竹は前述したように肥大生長は行わない。そのかわり各厚膜細胞が細胞内腔にむかって肥厚し多層構造を作りあげることによって強度的性質を向上させていると考えられる。

繊維細胞の肥厚の様子をマダケによって示したものが図-13である¹²⁾。この細胞内の肥厚がいつ頃まで続くのかはまだ明らかにされていないが竹令と比重をマダケを例にとりて表-2¹⁾を参照にすると2～3年生で比重がほぼ一定になるから細胞の肥厚化現象は2～3年内で終るものと推定される。

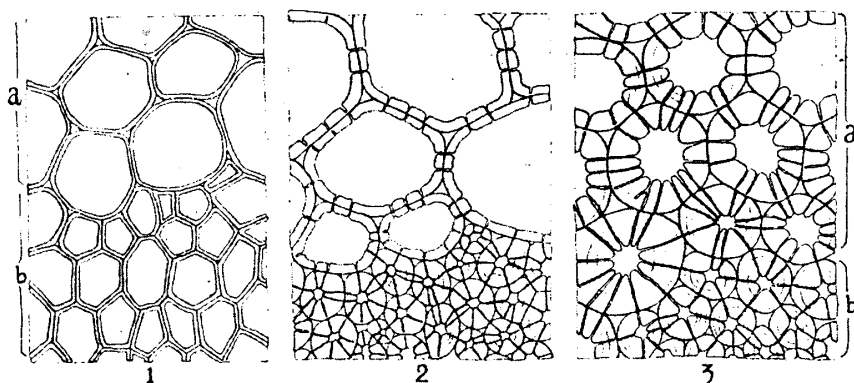


図-13 ヤダケの稈の細胞膜壁が年と共に肥厚する状態を示す¹²⁾

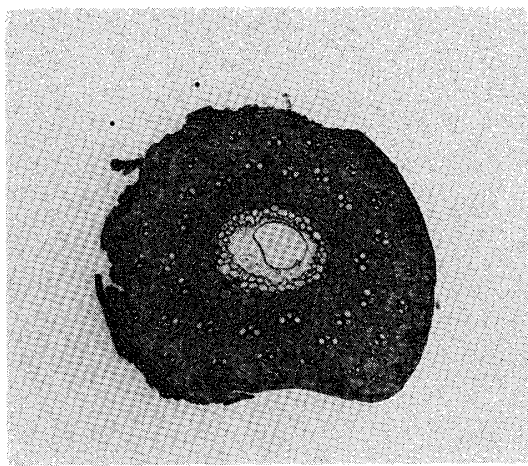
1. 1年生, 2. 2年生, 3. 3年生, a: 柔細胞, b: 靱皮繊維

表-2 竹林の年齢別密度 (マダケ)¹⁾

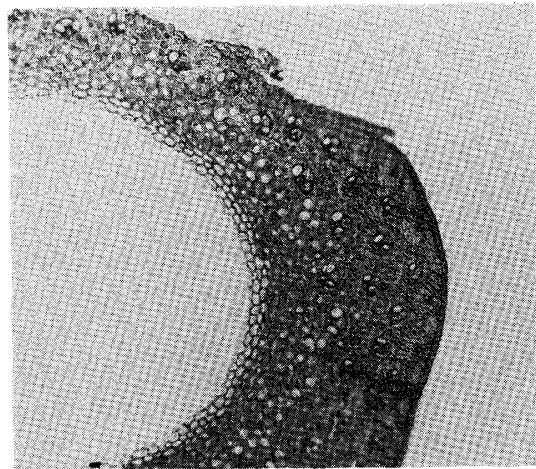
竹の年齢 (年)	1	2	3	4	5	6
密 度	0.73	0.88	0.83	0.84	0.84	0.85

次に実生から育てたモウソウチクの年令毎の竹稈の組織についてみてみよう。実生の組織の写真はこれが初めてのものである。写真-5は実生1年～3年生, 5年生の竹稈の横断面の光学顕微鏡写真である。写真-3の成竹に比べて維管束の形態, 維管束鞘を構成する厚膜細胞群, 柔細胞群との間に明瞭な分布上の規則性が見られないことがわかる。成竹においては写真-2, 3より明らかなように外皮側の維管束は縦長に緻密にならんでおり, 外皮層附近では維管束鞘を構成する厚膜細胞のみからなっている部分がある。中央部はほぼ円形に近く, 内皮側は接線方向に横長の楕円形に近い (写真-4)。実生の若い竹では維管束の成竹にみられるような形態上の分化があまり明瞭ではない。連軸分岐をはじめた3年生のものから維管束の形態をかなりはっきりとるようになることを示している。このような形態上の分化が竹稈にどのようにして生じてくるのかは興味深い問題であるが, 後に述べるが竹稈内部に生ずる内部応力の発生機構と何らかの関連があることが推定される。

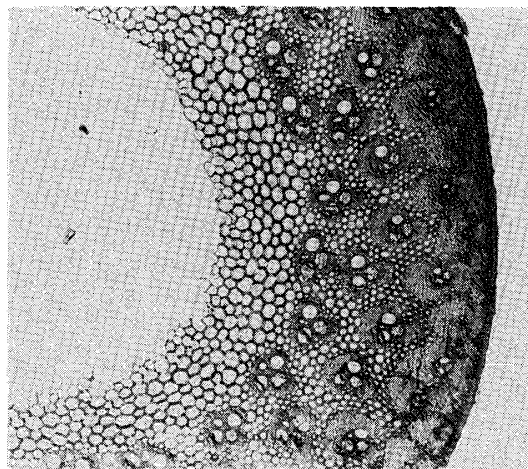
次にこれら竹の組織を構成する繊維細胞 (厚膜繊維) について, 実生竹の各年令毎の繊維長の変移を示すと図-14のようになる。年令を増す毎に順次長くなっていく。成竹の繊維長については竹稈径, 節間長との関連についてデータはないが外部形態の大きさとそれらを構成する細胞の大きさ, さらにこれら細胞の壁を構成するセルロースマイクロフィブリルの寸度等の相関の有無をしらべることも大切な問題である。



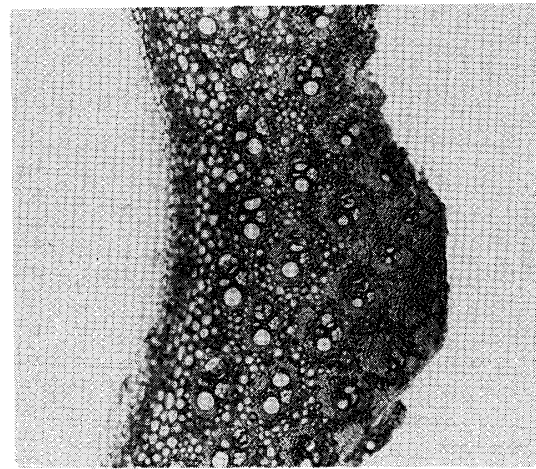
1 年 生



2 年 生



3 年 生



5 年 生

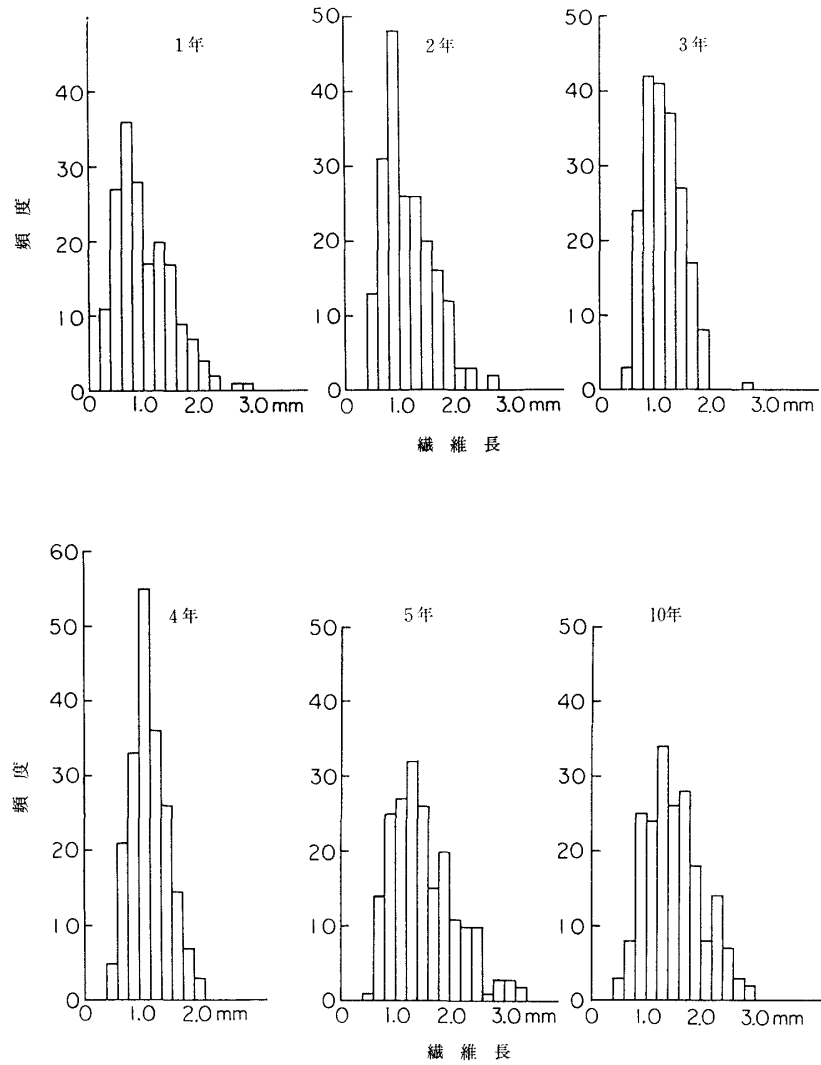
写真-5 モウソウチク実生竹の横断面 (12×)⁴¹⁾

6-2 竹の生長にともなう微細構造の変化について

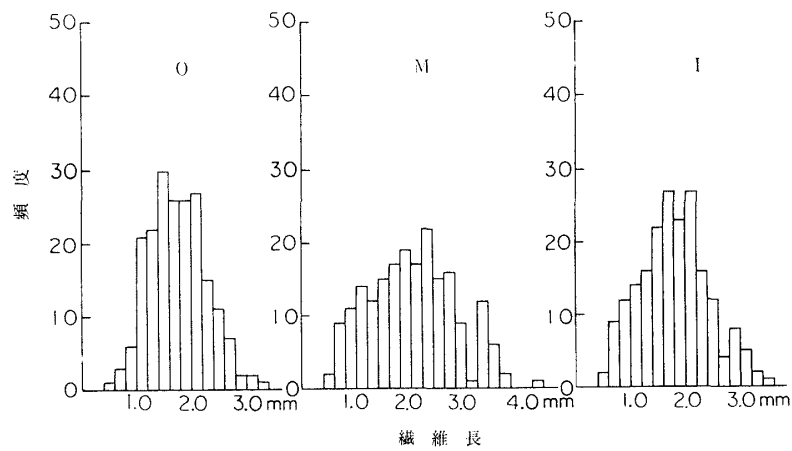
ここでは竹組織の細胞壁の骨核を構成するセルロースの微細構造が竹の生長過程でどのように変化していくかを主にX線回折より得られる知見をもとにして述べる。

植物細胞の骨核を形成するセルロースは結晶領域と非晶領域から構成されていることはX線回折法による研究等によって明らかにされているが、竹の生長過程においても若い細胞内で初め非晶性のセルロースが作られ、何らかの力、例えばセルロース分子鎖間の水素結合等によって分子鎖が集まり結晶領域を持ったセルロースミクロフィブリルが形成される。写真-6は竹の各生長段階の代表的なものを三つの例で示したX線回折図で上側は広角X線回折による竹のセルロースの繊維図であり、下側は上側とそれぞれ対応した小角散乱像である¹⁴⁾。X線回折により得られる竹材の回折像は成竹では写真-6cのような回折図を示し、木材のそれとほぼ同じでかなりぼやけた形のものが得られる。これはセルロースの結晶構造が他の無機物の結晶等と比較して、微小であることと、非晶領域、パラクリスタリン領域等を含み、それらが回折に複雑に影響しているからと考えられている。写真上側のものはセルロースの結晶構造の解析の際の情報を与えるもので、単結晶の寸度、結晶化度、セルロースミクロフィブリルの長さや巾が求められる。

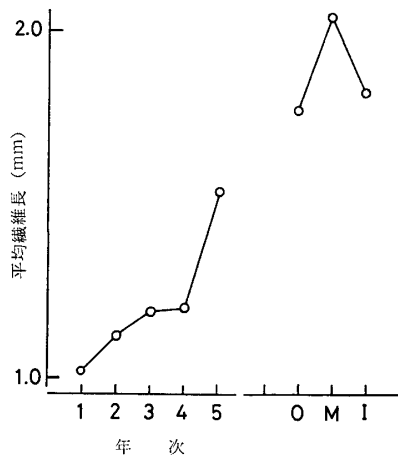
下側のものはX線小角散乱といってX線の回折角 0° 附近にあらわれる現象で、通常 $10\sim 2000\text{ \AA}$ くらい



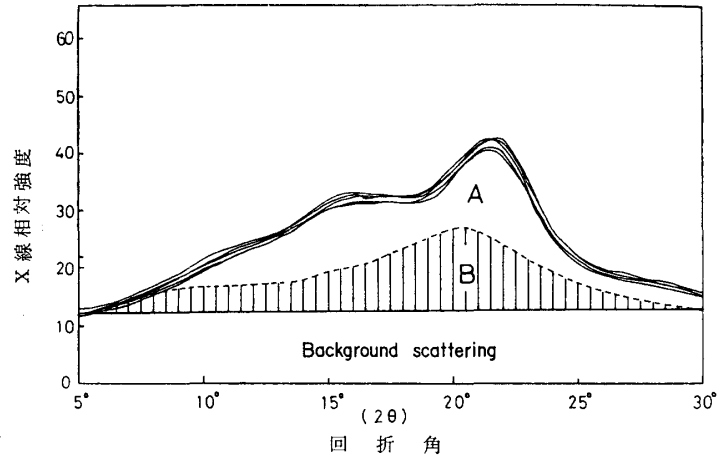
図一14 a 実生竹の各年令毎の繊維長の頻度分布⁴¹⁾



図一14 b 成竹の繊維長の半径方向の竹稈内での頻度分布
O : 外皮層, M : 中央部, I : 内皮層



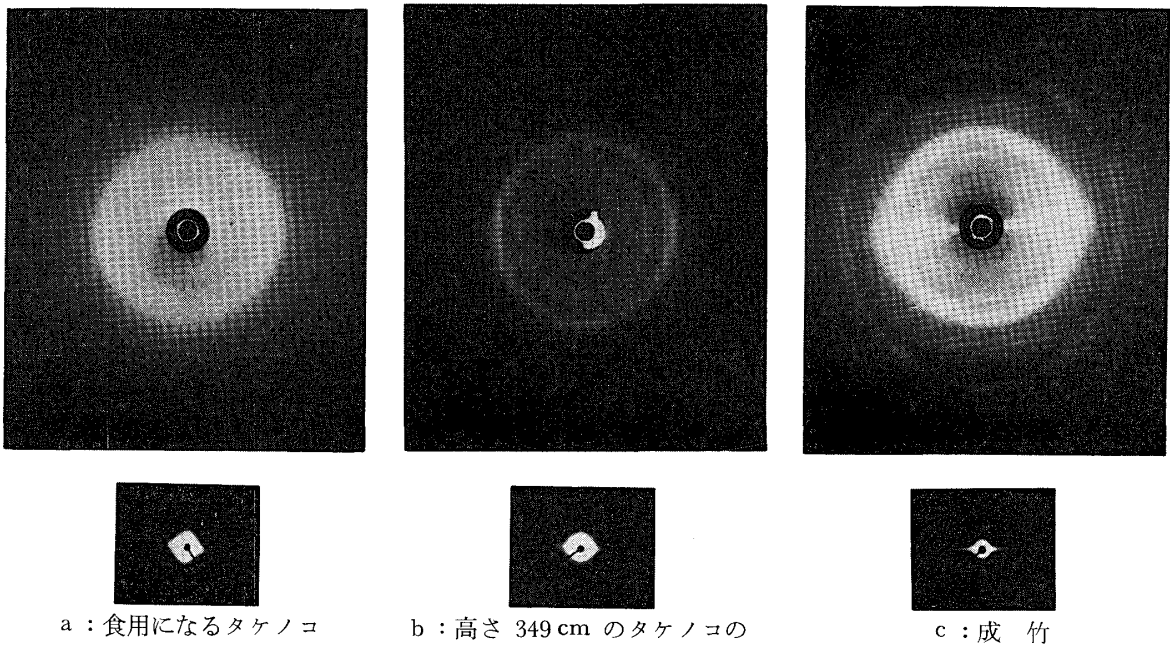
図一14 c 平均繊維長変化
O, M, I は成竹のもの
で夫々14bの記号参照



図一15 X線結晶化度の求め方

$$\text{X線結晶化度} = \frac{A}{A+B} \quad A: \text{結晶領域}, B: \text{非晶領域}$$

の大きさの粒子か、あるいはこの程度の不均一領域が存在するような物質中を単色X線が通過する時、その入射方向に対して極めて小さい角度範囲に一般には散漫な回折像が生ずる。そしてこの散乱現象は通過する物質中の微小な不均一領域の幾何学的構造に対応して生ずるものであるから、逆にこの散乱像を解析すると微粒体の大きさ、形状、集合の状態などを測定することが可能なわけである。また回折の原理からはこれとやや異なるものであるが、通常のブラッグ反射や特殊な長周期による回折（コラーゲンのようなもの）などのうちには非常に小角度に生ずる場合があるが、実際にはこれらは本来の小角散乱と厳密に区別出来ないこともしばしばあるので、一般にこれら小角度に生ずる散乱現象をすべて小角散乱と称している¹⁵⁾。



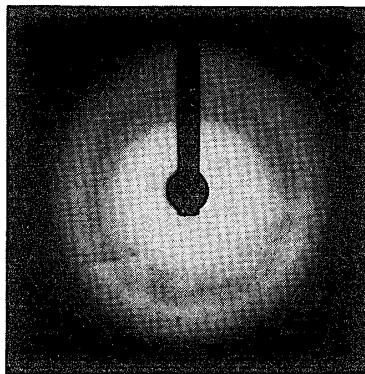
a : 食用になるタケノコ

b : 高さ 349 cm のタケノコの
第二節間

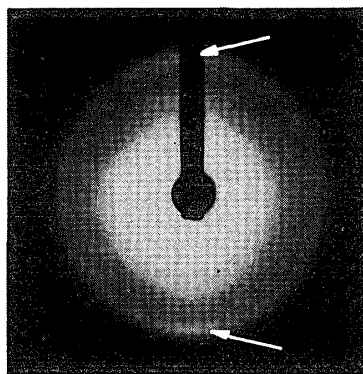
c : 成竹

写真一6 タケの生長段階によるX線写真¹⁴⁾

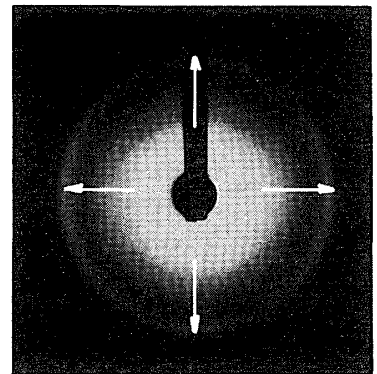
上 : X線広角回折 (円筒カメラ), 下 : X線小角散乱



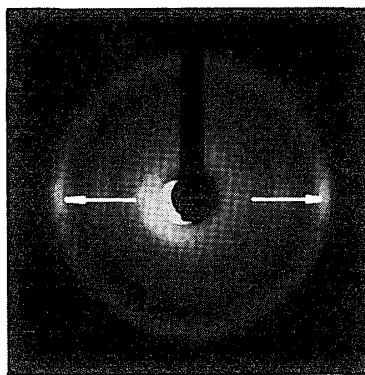
7-1 : 食用のタケノコ



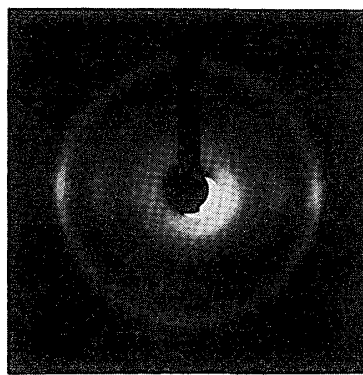
7-2 : 第17節間



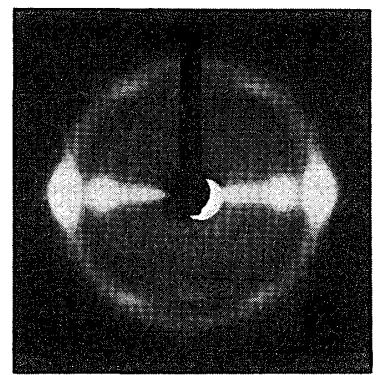
7-3 : 第12節間



7-4 : 第6節間



7-5 : 第2節間



7-6 : 成竹

写真-7 タケノコから成竹になるまでのX線回折図（ラウエ写真）の変化を節間生長しつつある一本のタケノコ（4週間目、349 cm）の生長段階の異なる部位による比較

写真-6 a の広角回折像は食べられる時期のタケノコの組織のものであるがこの時期ではほとんどが非晶性の物質であることを示している。それがどんどん伸長して 349 cm の高さになると竹稈基部附近の節間は節間生長が終り稈鞘も脱落し、維管束鞘もかなり木化が進んでいるが、この部分のX線図は写真-6 b に示すようにセルロース結晶における結晶格子の (002) 面の回折強度がかなり明瞭にみられるようになる。この回折強度の分布ははじめ (002) 面の格子間距離と対応した同心円上に環状にあらわれ、次に子午線との回折強度がつまり、さらに竹の生長が進行するとその後徐々に赤道方向に移行し、成竹になると写真-6 c に示すように赤道面上に最大強度を持つ繊維図が完成する。これを伸長中の一本のタケノコのそれぞれ生長段階の異なる各節間で比較したものが写真-7 である¹⁶⁾。矢印に示すように (002) の回折強度が細胞壁の生長にともなって赤道方向に移行していくことがわかる。これと平行して偏光顕微鏡電顕等によって壁の構造変化をみてゆけばもっと興味深い結果が得られるものと思われる。一方小角散乱像を見るとタケノコの初期では大きな菱形の空隙を持った構造が存在することを示しているが、写真-6 b になると少し赤道方向にすそを引く形になる。これは細胞組織中で繊維が配向しだしたために空隙も引っぱられて縦長になってきたことを示していると推定される。成長するにつれ散乱像が小さくなっていくのは微細構造内における空隙の割合が減少していていることを示している。

次に生長過程におけるセルロース結晶化度の変化についてみてみよう。セルロースの結晶化度は図-15 に示されるように赤道面上の回折強度から面積法によって求められた⁴³⁾。図 16 は各生長過程における各節間長の変化とそれに対応した節間部の結晶化度を示す¹⁶⁾。図-16 a に示されるように節間生長の終了していない部分は結晶化度は低い図-16 b に示されるように節間生長が完全に完了したと思われる 3 ~ 6 節間はほ

野村:竹の生長について

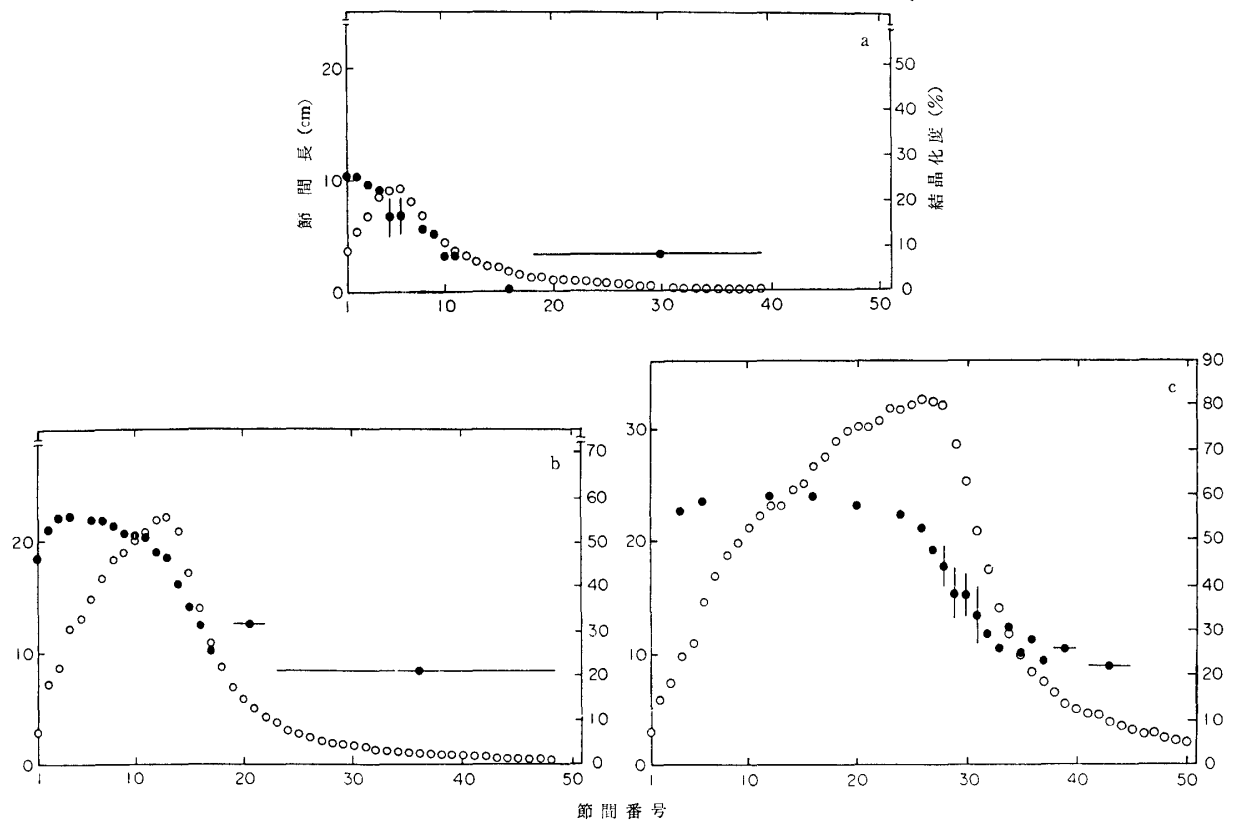


図-16 2 (118 cm), 4 (349 cm) および 5 週間目 (865 cm) のタケノコの各節間長分布および各節間のセルロース結晶化度の変化¹⁶⁾ (●: 結晶化度, ○: 節間長)

ば成竹の結晶化度に近い値を示している。これは図-16 c においても明らかである。節間生長しつつある同一節間の結晶化度の変化を図-17 に示す¹⁶⁾。節間上部から下方へと結晶化が進んでいく様子を明瞭に示している。化学的方法でタケの生長過程におけるセルロースの結晶化について調べたものに右田¹⁷⁾、谷口等¹⁸⁾の報告があるがX線的に求めた結果とよく一致している。

すなわち、セルロース結晶量は節間生長が終了し、竹皮が脱落したものではほぼ一定となりその後結晶量

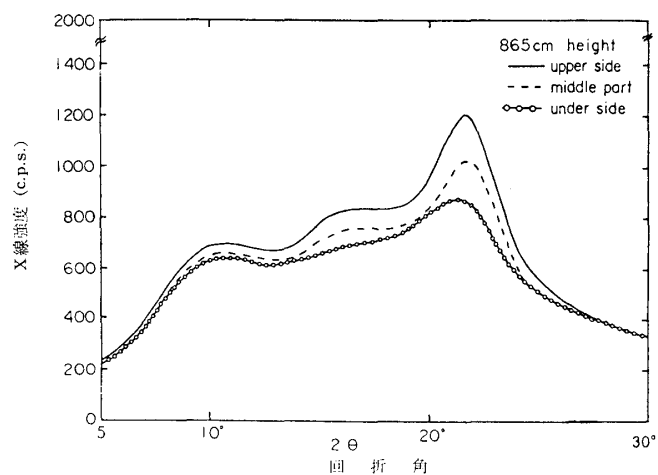


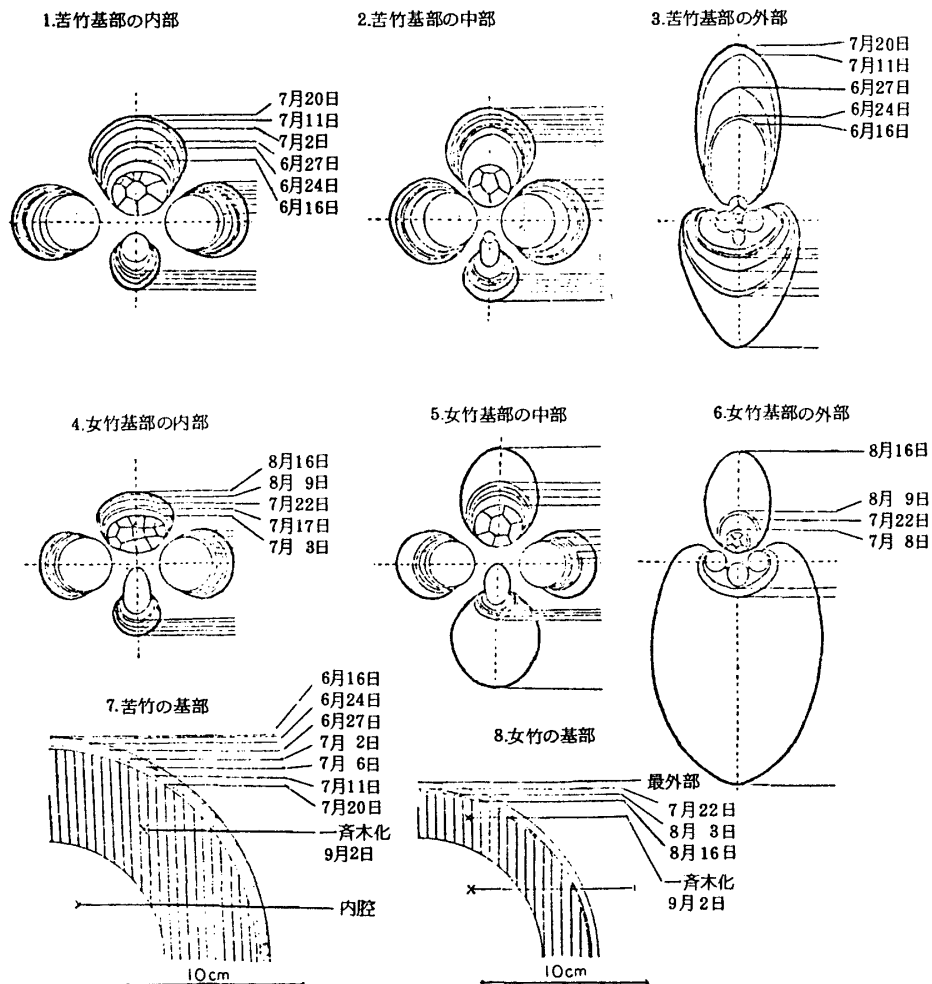
図-17 5 週間目のタケノコの節間生長しつつある節間の結晶化度の変化¹⁶⁾

はほぼ一定の割合になるということである。

6-3 竹組織の木化について

竹が発筍してから成竹になるまでの生長過程で木化 (Lignification) は竹稈を保持するための重要な役割を荷なっている。

一般に木化する植物の細胞壁を構成する主要成分であるセルロース、リグニン、ヘミセルロースはおおざっぱにいて、それぞれ鉄筋コンクリートにたとえればセルロースは鉄筋、リグニンはコンクリート、ヘミセルロースは前二者を有機的に結びつける複雑な作用を受けもつものと考えればよい。モウソウチクのように急速に伸長するようものの機械的組織の保持はよほどうまくやらないと、生長の途中で竹稈は折れ曲ってしまうことになる。伸長中のタケノコの節間がそれぞれ節間生長の速度、細胞分裂の速度の異なる部位を持ちながらうまくバランスをとって木化が進行していく様子は驚異的であり、このコントロールのメカニズムを明らかにすることは非常に興味のあることである。木化の現象については組織解剖学的¹⁹⁾、化学的¹⁷⁾あるいは生化学的²⁰⁾立場からの研究があるが、タケノコについて成竹になるまでの木化のコントロールのメカニズムはまだ明らかにされていない。タケノコから成竹になるまでの木化の推移をみると伸長方向では下部の節間から木化がはじまる。節間生長中の竹稈では伸長方向でみると上部の維管束から下部に向かって、半径方

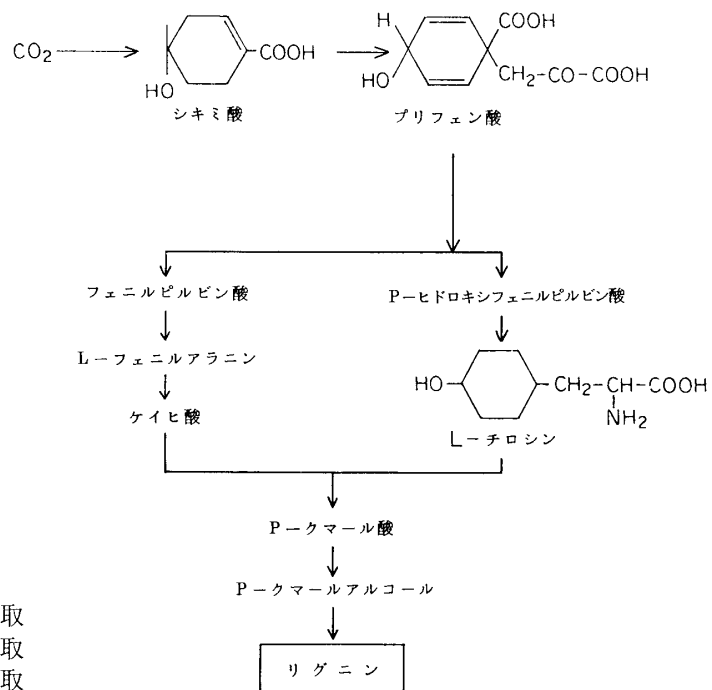
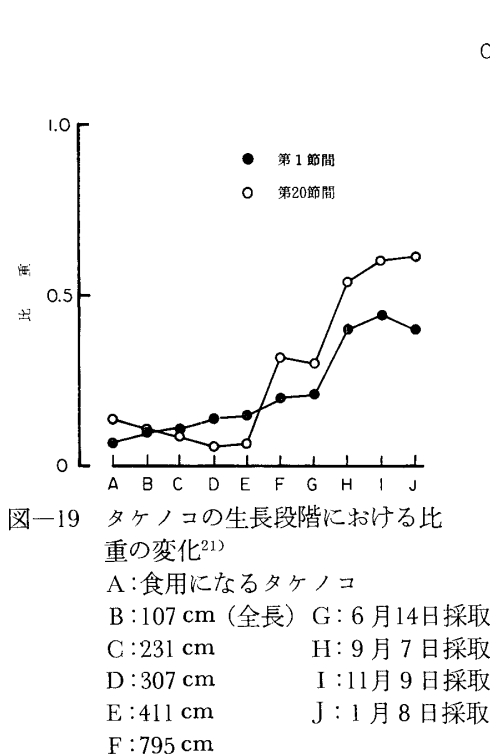


図一18 竹稈維管束鞘の木化の推移状況 (1~6) 竹稈中心柱の外側における維管束鞘および柔細胞ならびに内部における柔細胞の木化の推移状況 (7~8)¹⁹⁾

向では外側の維管束鞘から内側へと木化は進行する¹⁹⁾。この時、興味深い現象は竹稈の内側の中空部に面する薄層に隣接した厚さ 1 mm 弱の緻密な細胞層があるが、この部分も外側の維管束鞘とほぼ同時ぐらいに木化する。この部分を顕微鏡レベルでみてみると接線方向に扁平な厚膜細胞からなっている。恐らく柔細胞から機能的に分化したものであらうと考えられるが隣接する柔細胞は木化しないのにこの部分の細胞だけがまず選択的に木化するのとはどのような機構によるのであらうか。

その後はもっぱら外側の維管束部から内側の維管束部へと木化が進行していくが柔細胞群の木化はおさえられている¹⁹⁾。節の部分も節間部より先だって隔壁（節間盤）の周辺で木化が進んでいる。これはタケノコの伸長中、外力、特に曲げに対する抵抗性の上から考えてもいかに合理的である。

宇野¹⁹⁾がマダケおよびメダケを用いて顕微鏡的にしらべた竹稈の半径方向での木化の推移を図-18に示す。維管束鞘の木化は篩管部、導管部の周囲部にあらわれ徐々に外側に向っていく。このような維管束鞘の木化と平行して、竹稈の半径方向全体でみると外周から内側に向って維管束鞘の木化が進み、ある時期に柔細胞群が一斉に木化することを示している。この現象は図-19に示す生長過程における竹材の比重の変化からも裏づけられる²¹⁾。この現象については樋口等²²⁾によってアスコルビン酸が木化を抑制する作用を持つことを示す報告がある。柔細胞が一斉に木化する時期がマダケ・ヤダケ・モウソウチクともほぼ同じ時期にあるようであるが一体どのような力が作用して木化に対するアスコルビン酸の抑制作用を解除するのであらうか。これも木化植物の植物生理学上の興味深い問題である。



6-4 モウソウチクにおけるチロシンの役割について

前節で竹の生長過程における木化について主に顕微鏡的立場から述べたが、ここでは生化学的立場から、特にモウソウチクに多量に存在するチロシンと木化の関連性についてX線回折法により半定量的に求めたチロシン量とアミノ酸分析によって求めたものを比較しつつ述べる。

木化、すなわちリグニンが合成される経路でチロシン、フェニルアラニン等の芳香族アミノ酸を経てリグニンが形成される生合成経路は図-20²³⁾に示されている。イネ科植物、特に竹類の中でもモウソウチクはL-

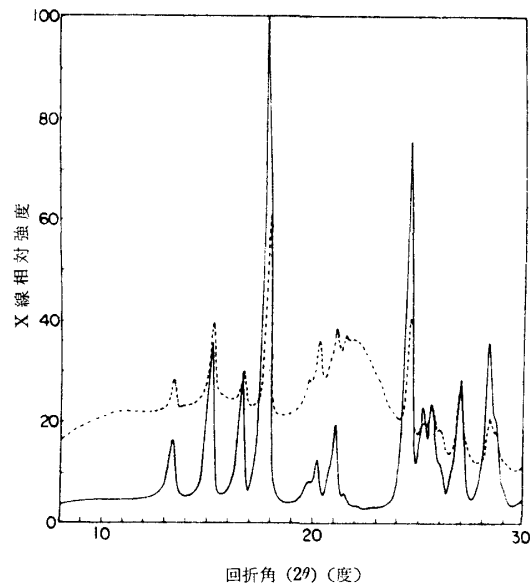


図-21 チロシン及び20%のチロシンを含む竹粉のX線回折図⁶⁾
 — : チロシン, --- : 20%チロシン

チロシンを通る径路がかなり大切な役割をしているようで、他の植物ではみられない特異な径路である²⁴⁾。

チロシンは水に難溶の結晶で立体化学的にはD体とL体が存在するが、モウソウチクは図-21のX線回折図に示されるようにL-チロシンのみが存在する⁶⁾。高さ 349 cm, 発筈後の4週目のタケノコの各節間部およびごく若い食用のタケノコの試料についてのX線回折図を示すと図-22のようになる⁶⁾。この試料は採取

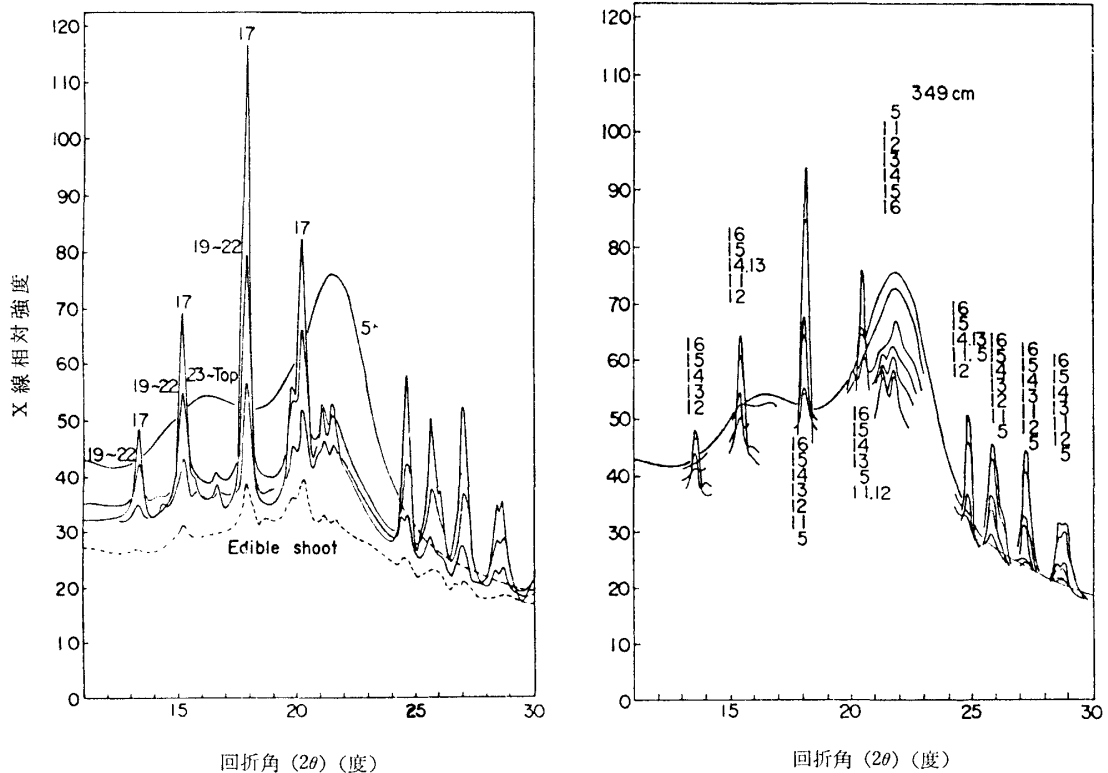


図-22 4週間目 (349 cm) のタケノコの各節間毎のX線回折図⁶⁾

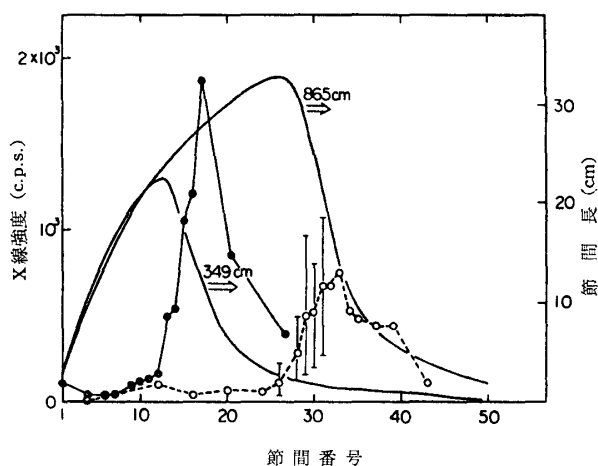


図-23 節間生長しつつあるタケノコ（4週間目、5週間目）のクロシン量の分布を $2\theta=17.9^\circ$ のX線回折強度によってプロットしたもの⁶⁾（●、○印）

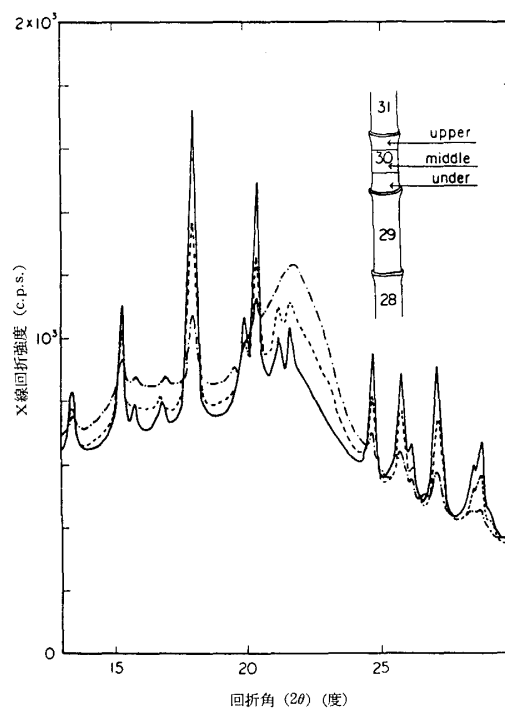


図-24 高さ 865 cm のタケノコの節間生長しつつある第30節間の上、中、下の部位でのX線回折図⁶⁾

後 70% メタノール中にほぼ一か月間浸漬後、風乾したのち粉末にしたものである。図中の番号は各節間番号である。第5節間にはクロシンは全く存在せず、木材や竹材の赤道面のセルロース結晶のX線パターンを示しているが他の節間は明らかにクロシンの結晶を含んでいることがわかる。今、 $2\theta=17.9^\circ$ の回折強度を各節間毎にプロットしてみると図-23のようになる⁶⁾。伸長しつつある各節間長と一緒にプロットしたものであるが、いずれも節間生長曲線の変曲点附近の節間に最大量のクロシンが含まれていることがわかる。この変曲点附近の節間は丁度細胞分裂と細胞の伸長によって爆発的に節間が伸びようと準備しつつある部分に対応する。この部分に大量のクロシンがプールされていることになる。このことについてもう少し詳細にみてみよう。図-24⁶⁾は高さ 865 cm になったタケノコの第30節間の上、中、下の三つの部分のX線回折図を示す。図-23の節間長の分布曲線からこの部分はまだ節間が伸長中の部位であることを示している。この節間の上部は細胞の伸長生長がほぼ終わった部分であり、中央部は伸長中、下部は細胞分裂によって増殖された細胞が伸長しようとしている部分である。この図からも節間下部にクロシンの含有量が多いことは図-23の事実をうらづけている。

伸長しつつある節間を上・中・下に分けそれぞれのX線回折強度から $2\theta=17.9^\circ$ の強度値 (C.P.S.) をプロットしたものを図-25⁶⁾に示す。節間生長が終了に近い第26節間は第31節間に比べてクロシンの含有量が全体に減少していることがよく示されている。表-3⁶⁾は図-23の試料を自動アミノ酸分析により求めたクロシン量である。X線回折で最大値を示した第17節間で乾物重量 1 g 当たり 324.5 mg も含まれている。図-26⁶⁾にX線法より求めたものとアミノ酸分析により求めたものをプロットするとよく一致する。

前述したようにクロシンがモウソウチクの場合リグニンの前駆体の一つとして特に重要な働きをしていると考えられる。図-27²⁵⁾はクラートンリグニンとして定量したリグニン量とクロシン量の関係を示したもので、両者間に明らかに負の相関があることからリグニンの前駆体としてプールされていることが考えられる。

表-3 発筈後4週間目(高さ 349 cm)のタケノコの各節間におけるチロシン量
(自動アミノ酸分析による, 70%メタノール貯蔵処理後の試料)⁶⁾

節間番号	mg/g	節 間 番 号	mg/g
1	20.7	11	32.4
2	3.79	12	64.7
3	5.05	13	—
4	—	14	148.9
5	3.24	15	235.0
6	3.31	16	247.9
7	3.34	17	324.5
8	8.41	19 ~ 22	257.4
9	10.1	23 ~ 先端	102.3
10	24.5		

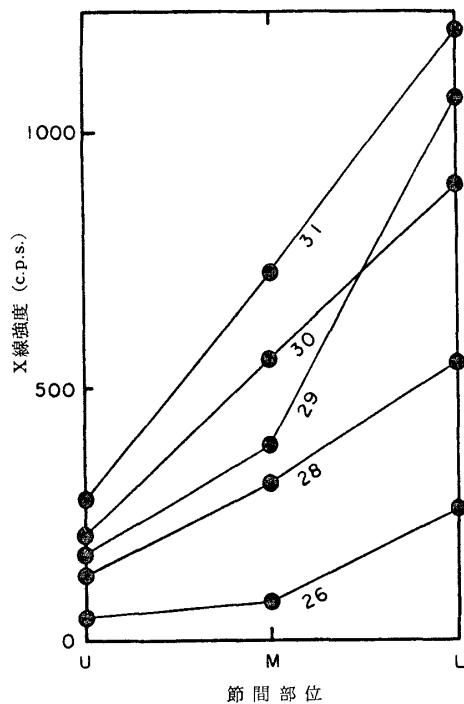


図-25 高さ 865 cm の各節間のチロシン量を回折角 $2\theta=17.9^\circ$ のX線強度についてプロットしたもの⁶⁾ (U: 上部, M: 中部, L: 下部の節間部位を示す) 図中の番号は節間番号

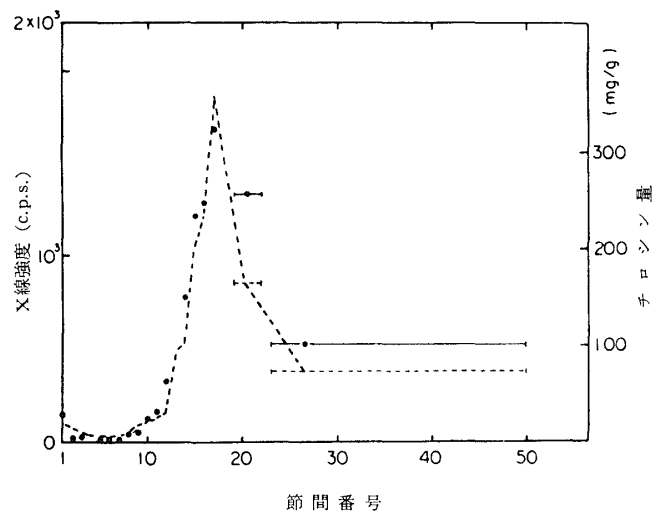


図-26 自動アミノ酸分析によるチロシン量とX線回折強度 ($2\theta=17.9^\circ$ の回折強度) の比較 (4週間目, 349 cm のタケノコ)⁶⁾

以上のチロシンに関するデータはいずれも 70% メタノールで処理後の試料についてであるから, チロシンの生合成経路でこのメタノールが例えばチロシンアンモニアラーゼなど阻害剤として作用し, 生体系内でチロシンから先に進む経路が阻止され大量にチロシンがプールされてしまったということも考えられる。そこで採取直後凍結乾燥した試料についてアミノ酸分析を行ってみた。結果は 図-28²⁵⁾ に示される通りである。含有量はメタノール処理の場合のほぼ 1/3 になったが, チロシン量のピーク位置は同じ部位に存在することがわかる。

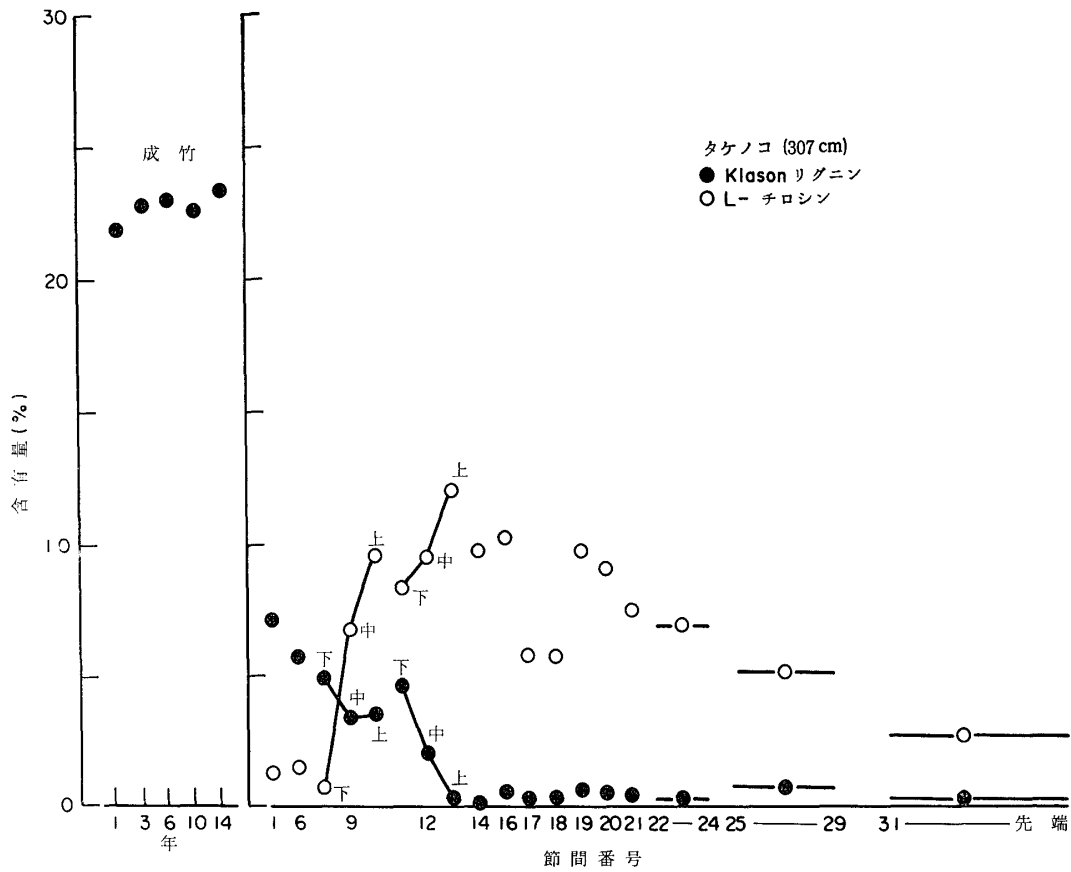


図-27 タケノコ高さ 307 cm の各生長段階にある節間内の Klason リグニン及びチロシン含量²⁵⁾
(図中上中下は一節間の上部, 中部, 下部の三部に分けて測定したもの, —○— は数節間をまとめた平均)

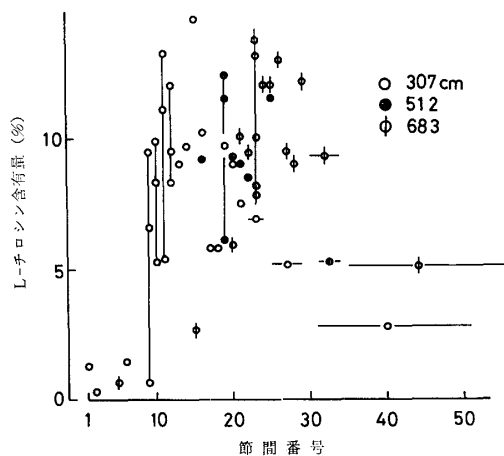


図-28 各生長段階にある タケノコの L-チロシンの節間内分布²⁵⁾ (縦のプロットをつないだものは一節間をプロットの数だけ節間を等分して各部分について測定したもの。横にのばした線は数節間の平均値)

これらの結果からモウソウチクのタケノコにおけるチロシンの役割を次のように推測することが出来る。分裂した細胞が伸長生長を始めると細胞壁内のセルロースもどんどん合成されマイクロフィブリルとして壁の骨核を作っていく。写真5, 6に示されたようにセルロースマイクロフィブリルは細胞壁の一次膜にそって横巻きにラセン状に形成されていくが, この時期にリグニンの前駆体として多量のチロシンがその細胞内に貯えられてくると考えられる。木化のところで述べたようにこの時期はもっぱら維管束鞘群の厚膜繊維細胞の木化が主体的に行われるのであるがこの細胞の伸長生長が終り, 今度はこれらの細胞壁を丈夫にする作業が始まるとプールされていたチロシンがコンクリートの材料であるリグニンのために使われると考えられる。竹の場合は生育が非常に早いので稈壁の組織構造を急速に完成させなければならない。このためにリグニンの前駆物質をそ

のまわりに大量にプールしておかなければならない。

チロシンは前述したように水に難溶性の物質であるため細胞質内にある程度大量に存在しても生体系に阻害作用をおよぼさないと考えられる。チロシンはイネ科植物に特異的に存在する酵素、チロシナンモニアリアーゼによって容易に脱アミノされ p -クマール酸を生成することが明らかにされている²⁴⁾。

イネ科植物以外の樹木では図-20 に示された L -フェニルアラニンからフェニルアラニンアンモニアリアーゼの働きにより生じたケイヒ酸を経てリグニンが生成され、この酵素は樹木の形成層部に広く分布していることが知られている²⁴⁾。これに対してイネ科植物にはフェニルアラニンアンモニアリアーゼとともにチロシナンモニアリアーゼが広く分布し、両酵素がともに木化と密接な関係を持っていることが明らかになってきている²⁴⁾。一般にイネ科植物であってもフェニルアラニンアンモニアリアーゼ活性はチロシナンモニアリアーゼ活性に比べて著しく高く、チロシナンモニアリアーゼによる p -クマール酸の生成は補助的役割をしているものと考えられている²⁴⁾。前記の事実から推定するとモウソウチクのタケノコにおける維管束鞘の木化に関してはチロシナンモニアリアーゼ活性の役割が一層重要である可能性があると思われる。いずれにせよ節間生長しつつある竹程内部にあって木化が組織の部分部分で実に巧妙に制御されながら進行していくメカニズムはその合目的性のからいっても驚異的であり、生化学的、生物学的にもっと深く研究される価値があると思われる。

6-5 竹材の物理的性質一般について

竹についての物理的あるいは機械的性質に関する研究は多くあるが^{12, 13, 19, 26~28)}、ここでは特に竹の特徴的な性質を取り上げて述べる。

竹材は前述したように木材に比べて組織構造は単純である。維管束と柔細胞から構成されている中空厚肉円筒を節と節間盤によって結びつけたものである。維管束が竹程と平行通直に配列しているため、割裂性がきわめて高いことと曲げ加工にすぐれた性質を示す。

割裂性は木材等に比べて優れているが、分割に要する力は木材のそれに比べて大きく、針葉樹材の平均値と比べればほぼ2倍である¹⁹⁾。竹材の比重は種類や部位によって異なるがマダケで平均0.88、モウソウチクで1.09である¹³⁾。収縮率は軸方向、半径方向、接線方向における比率として0.07:1:0.6であり木材の0.2:1:2に比べて軸方向の収縮率が小さいことと、半径方向の方が木材とは反対に接線方向より大きい。また接線方向の収縮率は外側部が内側部よりも大であるが半径方向および程軸方向の収縮率は反対に外側部の方が小さい。太田²³⁾は竹材の主要構成因子を外皮層、維管束鞘、基本組織および内皮層の4種に区別し、それらの構成因子が竹材中で占める割合が比重および圧縮強度等に及ぼす影響について調べ次のような結果を得ている。外皮層率と内皮層率ならびに維管束鞘率と基本組織率との間には共に独立に直線関係が認められ、前者では正のまた後者では負の回帰係数を得ている。比重は外皮層および維管束鞘が増加すれば直線的に増加するが、基本的組織および内皮層が増加すれば直線的に減少する。従って外皮層および維管束鞘の比重は竹片の比重より大で、基本組織および内皮層の比重は小であって、さらに外皮層の比重が最大で維管束鞘がこれに次ぐ。圧縮強度は比重と同様に外皮層および維管束鞘が増加すれば直線的に増加するが、基本組織および内皮層が増加すれば直線的に減少することを示している。竹材の種々の強度的性質に関しては、気乾材と水漬材とでは余り大差が無いが、含水率の減少に伴い強度は大となる。気乾材と水漬材であまり差がないのは竹材の繊維飽和点が14~22%と木材の20~35%より低く、飽水材と気乾材の含水率差が木材よりも小さいことからくると思われる^{34, 35)}。これは竹材の強度的特性であり、曲げ強さで二者の強度比は1.1(モウソウチク)であるが、木材では1.6と大きい³⁴⁾。

節部の強度は節間部と比較してあまり差がないという報告がある²⁹⁾。引張強度は他の木材に比べて大きく、針葉樹の約4倍、広葉樹の硬木等のほぼ2倍の強度を持つ¹³⁾。

6-6 竹の生長応力について

樹木や竹が生えている様子をみると動物のように動きがないのでただなんとなく立っているようにみえるがそうではない。

一本のモウソウチクが立っているのを見ると、節と節でつながれた円筒状の竹稈が見た目に静的で何の動きもないように思える。しかし実際には非常に動的といってもいい力の緊張状態が保たれているのである。節と節の間の一つ一つの節間は丁度円筒状の風船をつねにふくらんだままの状態を保っているようなものを考えればよい。竹が地面に垂直に生え、種々の外力に対抗していこうとする場合、前もってこれらの力に対抗する力の場を竹稈内に作りだしておかなければならない。

これを内部応力と一般に呼んでいるが、植物が自分のからだを支えるために生長の過程で作りだされてきた内部応力であるからこれを特に生長応力と呼んでいる。ここで竹の生長応力にあたるものについて少し述べてみたい。

上下に節を持った節間を切りとり、その竹稈の表面に歪ゲージを縦方向に対してそれぞれ平行と直角にはりつける（図-29 a）⁴¹⁾。その後上下の節の部分を取りとると二方向の歪ゲージは表-4 a⁴¹⁾の数値で示されるようにいずれもマイナスの値になる。このことは節をとり除くことによって竹稈は縦方向にも横方向（接線方向）にも収縮したことを示している。すなわち節と節とにかこまれた節間の円筒は風船の例と同じ状態を保っていたわけである。次に、このようにして上下の節の拘束を除いた竹稈にまだどのような残留応力が残っているかをしらべるために竹稈の外皮側と内皮側に前と同様に歪ゲージを二方向にはりつけ、図-29 bに示す黒塗りの部分を接線方向より縦割りにして取り除いた時のそれぞれの方向の歪量を表-4 bに示す。これから推定すると竹稈の接線方向では外皮層側で圧縮応力が働き、内皮層側で引張応力が働いていたことがわかる。

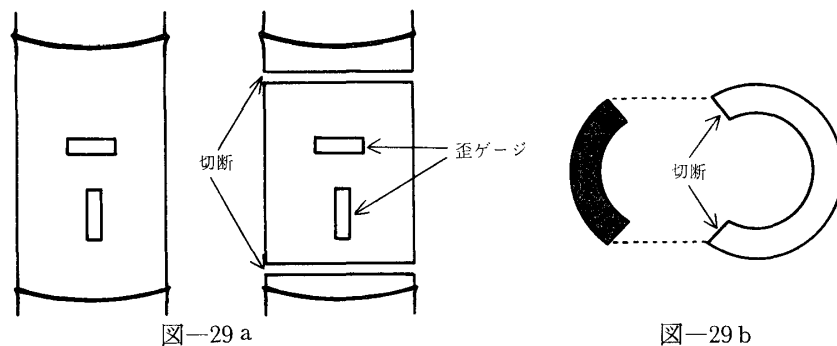


図-29 竹稈の内部応力測定のための竹稈の切断の手順

表-4 a 繊維方向内部応力解放後の解放歪量 ($\times 10^{-6}$)⁴¹⁾

竹 齢 (年)	節間番号	繊維方向平行	繊維方向直角
3	10	—	—
	20	-50	-115
	30	0	-90
	40	-15	-60
1	10	-30	-45
	20	-30	-80
	30	-10	-50
	40	0	-80

表-4b 接線方向内部応力解放後の解放歪量 ($\times 10^{-6}$)⁴¹⁾

竹 齡 (年)	節間番号	内 皮 外 皮			
		//	⊥	//	⊥
3	10	+85	-540	-30	+435
	20	+75	-500	-45	+530
	30	+15	-485	-30	+450
	40	0	-550	0	+580
1	10	+50	-1090	-20	+640
	20	+35	-710	-15	+490
	30	+40	-490	-15	+500
	40	+45	-490	-30	+535

縦方向では表 4-b から明らかなように内・外の歪を加えるとプラスになるから接線方向の内部応力を解放することによって横方向に引っぱられ縦方向に短くなっていた分が回復する。解放前は縦方向では外皮層側で引張応力、内皮層側で圧縮応力が働いていたことになる。このような内部応力が作用している場に存在する組織細胞のそれぞれの形態が内部応力と対応したものになっているかどうかはもう少し詳細な研究を待たねばならないが、竹稈横断面の維管束の形態についてはうまく説明できるような形をしている。すなわち外皮層側の維管束はその附近の接線方向の応力場が圧縮応力であるため接線方向に押しつけられたような扁平な形をしているし、内皮層側は引張応力が働いているから横に伸ばされたような形になっている。中立軸附近は円形に近い(写真-5)。実生1年生、2年生のように竹稈が細いものでは写真-6に示されるように維管束の形態上の分化はみられない。ニワトリが先か卵が先かの議論になりそうであるが、内部応力の発生の機構と組織構造の形態の関連性も今後の課題であろう。

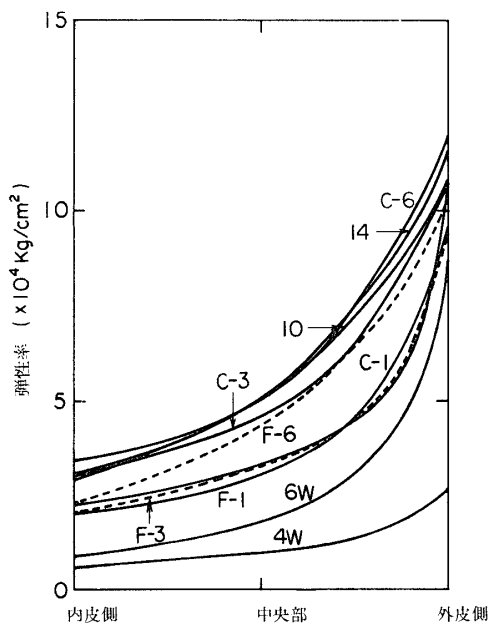


図-30 各生長期における第6節間の縦引張弾生率の半径内分布 (4W, 6W; 4週間, 6週間目のタケノコ), 図中の数字は年数, C, Fはそれぞれ無施肥, 施肥の別を示す

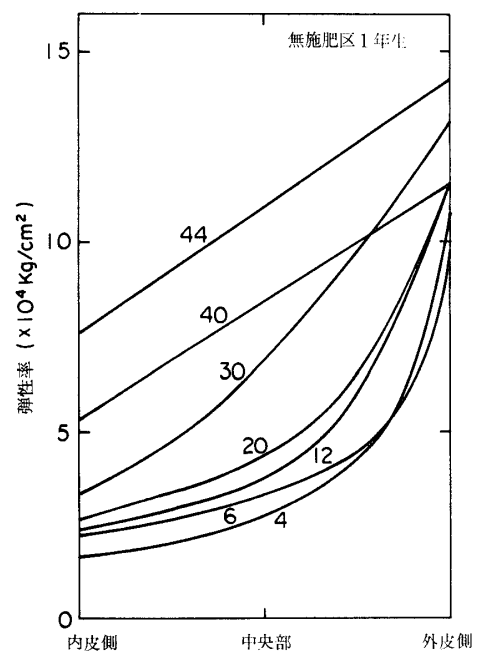


図-31 無施肥区1年生の各節間における半径方向弾性率分布

6-7 生長過程における弾性率の変化について⁴²⁾

発筍してから成竹になるまでの過程で竹組織の弾性率がどのように変化していくかをモウソウチクを用いて調べた結果にもとづいて述べる。発筍後、4, 5, 6 週間目のタケノコおよび1, 3年生の成竹（無施肥区と施肥区の試料）ならびに6, 10, 14年生の成竹について各節間毎に外皮層から内皮層に向って半径方向に厚さ1mm（半径方向）、巾1cm（接線方向）、長さ10cm（繊維方向）の短冊型の試片を作成し、飽水状態で縦引張り試験により求めた弾性率について比較したものである。図-30は各生長過程における第六節間の縦引張り弾性率の半径内分布を横軸の竹稈厚さを規格化して比較したものである。節間生長の様子が弾性率変化からも明らかであることおよび木化が組織解剖学的にみた結果を裏づけていることがわかる。すなわち外皮側に近い方から弾性率は上昇していつている。

図-31は無施肥区一年生の各節間毎の半径方向の弾性率変化を例に示したものであるが、この図より下部の節間では外皮層側と内皮層側で弾性率の差は著しいが、上部の節間にいくにつれて差が少なくなっている。これは維管束の半径方向での分布割合との間に正の相関があることを示している。ここで特に注目したいのは施肥効果が三年生のタケにまでかなり影響していることが無施肥区のものと比較した図-32で明瞭にあらわれていることである。図-33は発筍後4週間目のタケノコの第八節間と一年生のタケの第九節間の応力-歪曲線の比較である。外皮層側ではほぼ6倍の応力差を示している。図-34は第十節間の弾性率の経時変化を示したものである。図-32のところで述べた半径方向の弾性率の分布曲線で施肥と無施肥の場合両者に

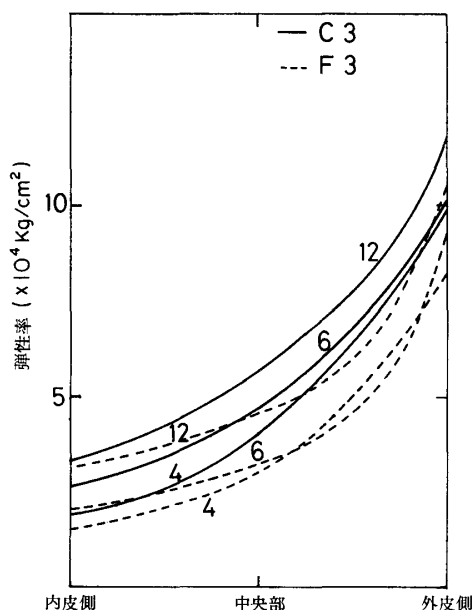


図-32 無施肥区三年生 (C 3) および施肥区三年生 (E 3) の節間内のヤング率分布 (I : 内側, M : 中央部, O : 外側), 横軸は規格化してある。図中の番号は各節間番号を示す。

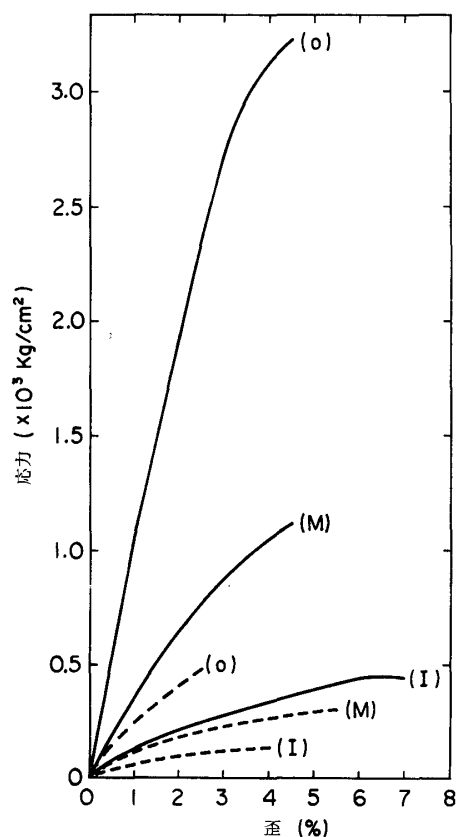


図-33 発筍後4週間目のタケノコ (第8節間) および一年生 (第9節間) の竹稈の外皮部 (O), 中央部 (M), 内皮部 (I) の各部位における応力-歪図。実線: 1年生, 点線: 4週間目

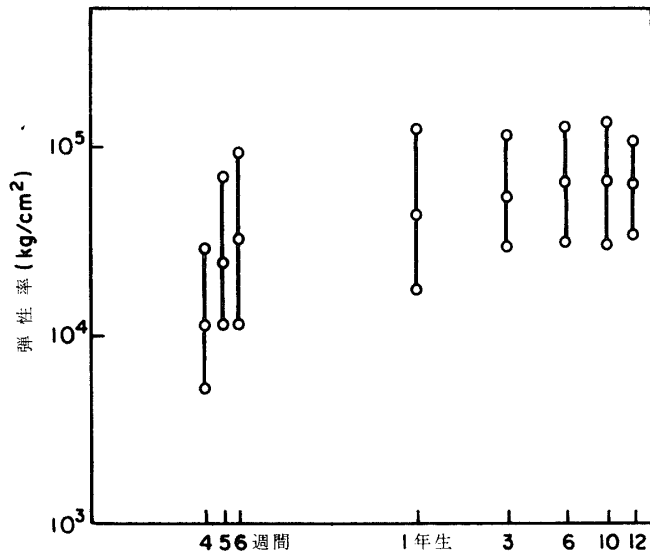


図-34 各年生長段階における第10節間の弾性率経時変化
(図中上, 中, 下の○印はそれぞれ外皮側, 中央部, 内皮側の値)

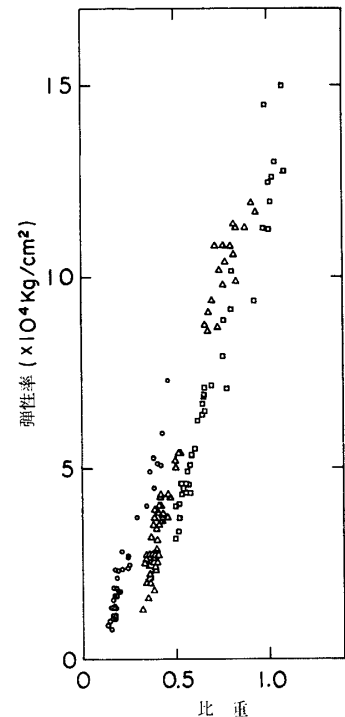


図-35 発生筍後5, 6週間目, 1年生, 14年生の縦引張弾性率と比重の関係に対する比較 (○: 5, 6週間, △: 1年生, □: 14年生)

差があるが無施肥にかぎってみると弾性的にいつて三年生からほぼ定常状態に入るといいようであろう。図-34 から弾性率変化も S 字型の生長曲線が予測出来ると思われる。図-35 は五, 六週間, 一年生, 十四年生の竹の弾性率を気乾比重に対してプロットしたものである。同一比重で三者の弾性率を比較してみると若い方が高いことを示している。これは比重の増加に寄与するリグニンの影響を示しており, 弾性率に対する寄与はセルロースによるものが大きいことを示していると推定出来る。

以上, タケノコの生長段階による弾性率変化について述べたが, 構造変化との詳細な関連性を明らかにすることが今後の課題と思われる。ここで材質面からみた重要な問題に少しふれておかなければならない。それは林木にあてはまることであるが肥培管理による材質である。図-32 に示されるように肥培が材質に及ぼす強度的な悪影響は三年生のものでまだその影響が残っていることである。このことは肥培管理されている竹林の竹材の伐期の上からも重要な問題で他の物理量の詳細な測定とそれらの比較から用材としての適否を十分検討しなければならない。竹の生長過程における材質の変化に関する研究はまだほとんどなされていない。今後, この種の報告が多く出されることによって竹の材質面での改良が実際面で応用ともしっかり結びついていくことを期待したい。

む す び

タケの生長についてきわめて概括的であるが著者が今まで行ってきた研究を中心として述べた。個々の問題についてはかなり深く追求されている領域もあるが, 全体的にいつてまだまだ不明な点が多い。竹はインド・アジア大陸を中心にかんがりの蓄積がある。竹の有効利用という実際面での研究が我国でもっとなされ, 自国の利益のみでなく発展途上国のため協力することがこれからの我国にとって重要ではなからうか。

終りに本稿をまとめるに当たり, 竹類一般に関しては鈴木貞雄氏の著作から多くを引用させていただいた

野村：竹の生長について

こと、実験試料の提供、試料作成、資料の提供等に御協力いただいた農林水産省林業試験場の鈴木健敬氏、京都大学演習林上賀茂試験地の渡辺政俊氏、栃木県の若山幸央氏、山口女子大学の大鶴勝氏、京都大学食糧科学研究所樋笠隆彦氏、名古屋大学の奥山剛氏、当研究所の伊東隆夫氏、島地謙教授、有益な御助言をいただいた樋口隆昌教授、山田正教授に感謝いたします。

文 献

- 1) 資源局資源統計課資料第 19 号、東南アジアの竹資源の活用 (1968)
- 2) 鈴木貞雄：“日本タケ科植物総目録”，学習研究社 (1978)
- 3) 渡辺政俊他：未発表
- 4) 重松義則：宮崎大学農学部研究時報 6, 14 (1962)
- 5) 上田弘一郎：“有用竹と筍”，博友社 (1962)
- 6) T. NOMURA and T. YAMADA : Wood Research No.56, 21 (1974)
- 7) 大江礼三郎：繊維学会誌
- 8) 島地謙他：“木材の組織”，森北出版
- 9) 東野哲三，大野一月：日本木材学会誌 8, 238 (1962)
- 10) “同 上” 8, 245 (1962)
- 11) R. D. PRESTON and K. SINGH : J. Exp. Bot., 1, 214 (1950)
- 12) 竹内叔雄：“竹の研究”，養賢堂 (1932)
- 13) 茂庭忠次郎：“竹の研究”，土木技術社 (1943)
- 14) T. NOMURA and T. YAMADA : Wood Research, No. 59/60 7 (1976)
- 15) 角戸正夫：“実験化学講座 4 巻 固体物理化学”，第 2 版，日本化学会編，丸善 p. 269 (1963)
- 16) T. NOMURA and T. YAMADA : Wood Research No.57 (1974)
- 17) 石田伸彦：東大演習林報告 35, 140 (1947)
- 18) 谷口栄一：木材学会誌 2, 152 (1956)
- 19) 宇野昌一：“竹材の性質とその適用”，西ヶ原刊行会 (1939)
- 20) 樋口隆昌：“化学と生物”，13, 206 (1975)
- 21) 野村隆哉，山田 正：日本木材学会大会第 23 回大会発表 (1973)
- 22) 樋口隆昌他：日本林学会誌，37, 502 (1955)
- 23) 樋口隆昌：“樹木生化学”，共立出版
- 24) 中野準三編：“リグニンの化学”，コニ広報
- 25) 野村隆哉，山田 正：日本木材学会大会第 25 回大会発表 (1975)
- 26) 鈴木 寧：東大演習林報告，No. 36, 136 (1948)
- 27) “同 上” No. 36, 158 (1948)
- 28) “同 上” No. 36, 188 (1948)
- 29) “同 上” No. 36, 205 (1948)
- 30) “同 上” No. 38, 166 (1950)
- 31) “同 上” No. 38, 180 (1950)
- 32) 太田 基：九大農演習林報告，No. 2, 1
- 33) “同 上” No. 19, 25 (1951)
- 34) “同 上” No. 22, 87 (1953)
- 35) “同 上” No. 23, 155 (1954)
- 36) “同 上” No. 24, 6 (1955)
- 37) “同 上” No. 24, 73 (1955)
- 38) “同 上” No. 26, 103 (1955)
- 39) “同 上” No. 29, 1 (1958)
- 40) 北林博嗣：東大演習林報告，No. 36 (1948)
- 41) 野村隆哉：未発表
- 42) 野村隆哉，山田 正：日本木材学会大会第 22 回大会発表 (1972)
- 43) T. NOMURA and T. YAMADA : Wood Research, No.52 1 (1972)